



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

« Μελέτη και κατασκευή δέκτη ραδιοφωνικών σημάτων FM »



ΦΟΙΤΗΤΗΣ

ΤΑΟΥΣΙΑΝΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ (ΤΑ 1878)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΙΟΤΟΓΙΑΝΝΑΚΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ (Τ.Ε. – Ε.Τ.Ε.Π.)

ΡΕΘΥΜΝΟ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021

ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

« Μελέτη και κατασκευή δέκτη ραδιοφωνικών σημάτων FM »

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η κατασκευή ενός δέκτη ραδιοφωνικών σημάτων FM και η ανάλυση της λειτουργίας του. Η πτυχιακή εργασία αποτελείται από δύο μέρη, το θεωρητικό και το πειραματικό – κατασκευαστικό. Πιο αναλυτικά, στο πρώτο κεφάλαιο του θεωρητικού μέρους παρουσιάζονται κάποια ιστορικά στοιχεία, στο δεύτερο θα αναφερθούμε στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, στο τρίτο στις διαμορφώσεις πλάτους και συχνότητας και στο τέταρτο για τις βαθμίδες και την λειτουργία του ραδιοφώνου. Στο πρακτικό μέρος της εργασίας, θα γίνει ανάλυση του ηλεκτρονικού σχεδίου του δέκτη FM, κατασκευή και δοκιμή του. Πιο αναλυτικά στο πέμπτο κεφάλαιο θα γίνει η υλοποίηση και η κατασκευή του δέκτη, το σχέδιο, η ανάλυση του κυκλώματος καθώς η παρουσίαση των χαρακτηριστικών του. Τέλος, ακολουθούν τα κεφάλαια έξι και επτά στα οποία θα γίνει σύγκριση του ραδιοφώνου με ένα του εμπορίου και θα αναφερθούν βελτιώσεις και συμπεράσματα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ραδιόφωνο, κεραία, κατασκευή δέκτη FM, διαμόρφωση συχνότητας, τηλεπικοινωνίες, σήματα, μετάδοση, διαμόρφωση, κύκλωμα, σχέδιο, ευαισθησία, θόρυβος, ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και κύμα

ABSTRACT

The purpose of this dissertation is the construction of an FM radio receiver and the analyze of its operation. The dissertation consists of two parts, the theoretical and the experimental. In more detail, in the first chapter of the theoretical part some historical data are presented, in the second we will refer to the electromagnetic waves, in the third to the amplitude and frequency configurations and in the fourth to the steps of the construction and the operation of the radio. In the experimental part of the work, the electronic design of the FM receiver will be analyzed, constructed, and tested. In more detail, in the fifth chapter we will present the implementation and construction of the receiver, the design, the analysis of the circuit as well as the presentation of its characteristics. Finally, chapters six and seven come next. In these chapters, we will compare our radio with a commercial radio and we will report improvements and conclusions.

KEY WORDS

Radio, antenna, FM tuner construction, frequency modulation, telecommunications, signals, transmission, modulation, circuit, design, sensitivity, noise, electromagnetic spectrum and wave

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ.....	3
ABSTRACT.....	4
KEY WORDS.....	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	7
ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	7
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΡΑΔΙΟΦΩΝΟΥ.....	7
1.2 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΡΑΔΙΟΦΩΝΟΥ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ.....	7
1.3 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΡΑΔΙΟΦΩΝΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	9
1.4 ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΟΥ ΡΑΔΙΟΦΩΝΟΥ.....	10
1.5 Η ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΤΟΥ ΡΑΔΙΟΦΩΝΟΥ ΣΤΑ ΠΟΛΙΤΙΣΜΙΚΑ ΔΡΩΜΕΝΑ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	12
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ.....	12
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ.....	12
2.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ.....	13
2.3 ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ.....	14
2.4 ΠΟΛΩΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ.....	15
2.5 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ.....	15
2.6 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	19
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ.....	19
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ.....	19
3.2 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΤΑ ΠΛΑΤΟΣ (AMPLITUDE MODULATION – AM).....	20
3.3 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΤΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (FREQUENCY MODULATION – FM).....	22
3.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ AM ΚΑΙ FM.....	24

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°	25
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΙΔΕΣ ΡΑΔΙΟΦΩΝΟΥ.....	25
4.1 ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΚΤΗ FM	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°	28
ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΕΚΤΗ FM.....	28
5.1 ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ	28
5.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ	39
5.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΚΤΗ FM	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°	48
ΔΕΚΤΗΣ ΕΜΠΟΡΙΟΥ.....	48
6.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΕΚΤΗ ΕΜΠΟΡΙΟΥ	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7°	51
ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	51
7.1 ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ	51
7.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	52
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΡΑΔΙΟΦΩΝΟΥ

Το ραδιόφωνο είναι μια συσκευή η οποία δέχεται τις εκπομπές των ραδιοφωνικών σταθμών. Συγκεκριμένα, η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εκπομπή των ραδιοφωνικών κυμάτων από τον πομπό στο δέκτη. Τα ραδιοφωνικά αυτά κύματα έχουν συγκεκριμένη εμβέλεια και συχνότητα και καθιστούν δυνατή την μετάδοση ακουστικών μηνυμάτων σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς να απαιτείται η χρήση καλωδίων. Το τελικό αποτέλεσμα που προέρχεται από την αποκωδικοποίηση των κυμάτων αυτών από την συσκευή είναι η παραγωγή του ήχου από το ηχείο του ραδιοφώνου. Η διαδικασία εκπομπής και λήψης ραδιοκυμάτων συμπεριλαμβάνεται επίσης στην έννοια της ραδιοφωνίας.

Αναφορικά με την ετυμολογία της λέξης *ραδιόφωνο*, αυτή προέρχεται από την σύνθετη αγγλική λέξη *radiophone*. Τα συνθετικά της λέξης αυτής είναι δύο: *radio* (< λατινική *radius* που σημαίνει ακτίνα) και *phone* (< αρχαία λέξη που σημαίνει φωνή).

1.2 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΡΑΔΙΟΦΩΝΟΥ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

Αρχικά, αξίζει να αναφερθεί ότι το 1835 ο Αμερικάνος ζωγράφος και φυσικός Μορς (Morse) ολοκλήρωσε την κατασκευή ενός τηλεγράφου, κατά την περίοδο διδασκαλίας του στο πανεπιστήμιο της Νέας Υόρκης. Ο τηλεγράφος είναι μία συσκευή η οποία δημιουργήθηκε για να μεταδίδει πληροφορίες. Οι πληροφορίες αυτές μεταδίδονται μέσω ηλεκτρικών καλωδίων. Ο τηλεγράφος συνιστά τον προάγγελο του τηλεφώνου. Επίσης, ο τηλεγράφος είχε δικό του αλφάβητο που αποτελούνταν από τελείες και παύλες. Η μετάδοση αυτών των πληροφοριών γινόταν με ηχητικούς παλμούς μικρής και μεγάλης διάρκειας. Η συσκευή αυτή, παρόλο που αποτέλεσε μορφή επικοινωνίας χωρίς περιορισμούς, δεν χρησιμοποιήθηκε για μεγάλο χρονικό διάστημα, καθώς η ποσότητα του καλωδίου που θα απαιτούνταν στις μεγάλες αποστάσεις ανάμεσα στον πομπό και δέκτη θα είχε μεγάλο κόστος και δυσκολίες στην εγκατάσταση.

Πριν από περίπου 120 χρόνια γεννιέται η Ραδιοφωνία. Συγκεκριμένα, το 1873 ο Σκωτσέζος θεωρητικός φυσικός Μάξουελ (Maxwell) πρότεινε την *θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού*, η οποία αναφέρεται στην μετάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος χωρίς την μεσολάβηση κάποιου φυσικού μέσου. Αξίζει να σημειωθεί ότι, μεταξύ του 1967 και του 1873, ο Μάξουελ είχε προβλέψει την ύπαρξη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και την δυνατότητα διάδοσής τους στο χώρο.



Εικόνα 1.2.1: Το πρώτο ραδιόφωνο

Στη συνέχεια, το 1883 ο Γερμανός φυσικός Χέρτζ (Hertz) επαληθεύει την θεωρία του Μάξουελ για τον ηλεκτρομαγνητισμό και ανακαλύπτει τα ραδιοκύματα. Τα ραδιοκύματα αυτά ονομάστηκαν «ερτζιανά», διότι ο Χέρτζ κατάφερε να παράγει στο εργαστήριό του ραδιοκύματα επαληθεύοντας έτσι την θεωρία του Μάξουελ.

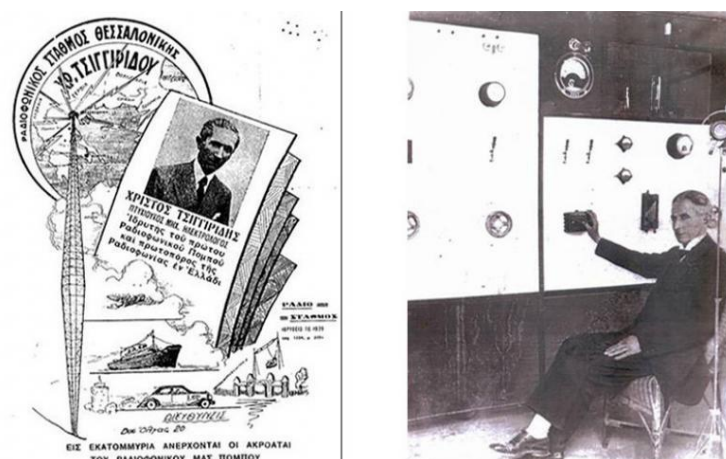
Ακολούθως, το 1894 ο Βρετανός φυσικός Λοτζ (Lodge) επιδεικνύει πλέον δημόσια την ικανότητα των ραδιοκυμάτων να μεταφέρουν μηνύματα σε αποστάσεις εκατοντάδων μέτρων. Έπειτα γύρω στο 1895 ο Ιταλός εφευρέτης Μαρκόνι (Marconi) επιβεβαίωσε τα πειράματα του Χέρτζ και κατάφερε να στείλει ασύρματα σήματα Μορς σε απόσταση πάνω από 3 χιλιόμετρα. Μετά από το επίτευγμά του αυτό, ο Μαρκόνι ίδρυσε την «Marconi Wireless telegraph».

Επιπρόσθετα, ο Καναδός εφευρέτης Φέσεντεν (Fessenden) το 1906 εξακολουθεί να πειραματίζεται με την εφεύρεση της ασύρματης τηλεγραφίας του Μαρκόνι και εξελίσσει την μετάδοση σημάτων Μορς, αυτήν την φορά με φωνή και μουσική.

Τέλος, το 1920 ο Αμερικάνος ηλεκτρολόγος μηχανικός Κόνραντ (Conrad) σηματοδοτεί την έναρξη του πρώτου ραδιοφωνικού σταθμού με όνομα *KDKA*, ο οποίος εκπέμπει μέχρι και σήμερα. Με αφετηρία αυτό, ιδρύθηκαν και τέθηκαν σε λειτουργία ακόμη οκτώ νέοι ραδιοφωνικοί σταθμοί μέχρι το τέλος του 1921 και ένα χρόνο αργότερα έφτασαν τους 564. Έπειτα, το 1926 παράγεται ένας δέκτης εύχρηστος, ποιοτικός και φθηνός. Στην πορεία, το 1930 εδραιώνεται βάσει νομοθεσίας το ραδιόφωνο και έτσι δημιουργείται ένα οργανωμένο δίκτυο σταθμών (ιδιωτικών και κρατικών) στην Αμερική αλλά και στην Ευρώπη.

1.3 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΡΑΔΙΟΦΩΝΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα η εξέλιξη του ραδιοφώνου άρχισε το 1926 με ιδιωτική πρωτοβουλία από τον ραδιοηλεκτρολόγο Χρίστο Τσιγγιρίδη, ο οποίος μετέδιδε ανά τακτά χρονικά διαστήματα εκπομπές στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Παρόλα αυτά, αξίζει να σημειώσουμε ότι η νομοθεσία επέτρεπε τις ραδιοφωνικές εκπομπές μόνο κατά την διάρκεια της Διεθνούς Έκθεσης Θεσσαλονίκης (Δ.Ε.Θ.). Ο Τσιγγιρίδης λειτουργούσε το ραδιόφωνό του με προσωπικές θυσίες, και με προσπάθειές του να πάρει άδεια διαρκούς λειτουργίας του ραδιοφώνου του. Αυτές οι προσπάθειες ήταν αναποτελεσματικές για πολλά χρόνια.



Σχήμα 1.2.2: Ραδιοηλεκτρολόγος Χρίστος Τσιγγιρίδης

Αργότερα, ιδρύεται και λειτουργεί ο πρώτος *Εθνικός Ραδιοφωνικός Σταθμός* στην Αθήνα στις 25 Μαρτίου 1938 από τον Βασιλιά Γεώργιο Β΄. Το 1945 ιδρύεται το *Εθνικό Ίδρυμα Ραδιοφωνίας (Ε.Ι.Ρ.)*, το οποίο αποτελούσε κρατικό φορέα που διαχειριζόταν την *Ελληνική Κρατική Ραδιοφωνία*. Επίσης, το Ε.Ι.Ρ. ανέλαβε την ευθύνη λειτουργίας του Εθνικού Ραδιοφωνικού Σταθμού. Ακολούθησε η ίδρυση και άλλων ραδιοφωνικών σταθμών σε όλη την χώρα που ανήκαν στην δικαιοδοσία του Ε.Ι.Ρ. .

Το «πειρατικό» ραδιόφωνο δημιουργήθηκε από τα τέλη της δεκαετίας του '70 στη μπάντα των μεσαίων συχνοτήτων AM (Amplitude Modulation, 550 έως 1.700 kHz) και επεκτάθηκε και στην μπάντα των FM (Frequency Modulation, 88 έως 108 MHz). Έπειτα, κατοχυρώνεται το ραδιόφωνο με τον νόμο 1730/1987 με την μορφή ανώνυμης εταιρίας, το οποίο έδρευε στην Αθήνα με όνομα Ε.Ρ.Τ Α.Ε. (Ελληνική Ραδιοφωνία Τηλεόραση). Καθορίστηκαν οι όροι και οι προϋποθέσεις βάσει της υπουργικής απόφασης 14631/Ζ2/2691/29.5.87 για την ίδρυση ραδιοφωνικών σταθμών σε δήμους και κοινότητες. Τέλος, «απελευθερώνεται» η ιδιωτική ραδιοφωνία με το προεδρικό διάταγμα 25/1988 και ιδρύονται ραδιοφωνικοί σταθμοί από φυσικά ή νομικά πρόσωπα.

1.4 ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΟΥ ΡΑΔΙΟΦΩΝΟΥ

Τα είδη του ραδιοφώνου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Το αναλογικό ή συμβατικό ραδιόφωνο, στο οποίο ο τρόπος διαμόρφωσης του σήματος έχει ως αποτέλεσμα να διαχωρίζει τις συχνότητες AM και FM, αλλά και να ορίζονται συγκεκριμένες περιοχές συχνοτήτων ανάλογα με το σκοπό της χρήσης του.
- Το ραδιόφωνο με Υπο – Φέρον (subcarrier), το οποίο έχει την δυνατότητα με συγκεκριμένους δέκτες να λαμβάνει πάνω από έναν σταθμό στην ίδια συχνότητα.
- Το ψηφιακό ραδιόφωνο, το οποίο είναι ένα από τα νεότερα τεχνολογικά επιτεύγματα, μεταξύ των οποίων είναι το DAB/DAB+, το οποίο λειτουργεί στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων VHF με πολλά είδη πρόσθετων διαδραστικών υπηρεσιών. Είναι ένας ψηφιακός δέκτης που έχει την δυνατότητα να αναπαράγει κανάλια μόνο της ψηφιακής ραδιοφωνικής μπάντας DAB+.

Λόγω του υψηλού κόστους του συγκεκριμένου δέκτη αλλά και του περιορισμένου εύρους που διαθέτει, δεν χρησιμοποιείται ευρέως.

- Το δορυφορικό ραδιόφωνο, το οποίο μεταδίδει αρχεία ροής, (δηλαδή επιφορτωμένα αρχεία σε πραγματικό χρόνο, αλλά και με τον ήχο να φορτώνεται εκείνη την στιγμή που παίζει). Τέλος, το διαδικτυακό ραδιόφωνο περιλαμβάνει και το Podcasting, το οποίο είναι η εμπορική ονομασία της μεταφόρτωσης ηχογραφημένων εκπομπών με την δυνατότητα να ακούσει ο χρήστης τραγούδια και εκπομπές όποτε εκείνος το επιθυμεί.

1.5 Η ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΤΟΥ ΡΑΔΙΟΦΩΝΟΥ ΣΤΑ ΠΟΛΙΤΙΣΜΙΚΑ ΔΡΩΜΕΝΑ

Το ραδιόφωνο συμβάλλει στην καλλιέργεια της μουσικής που αναδεικνύει. Υπάρχει πληθώρα μουσικών επιλογών: έντεχνη, λαϊκή, κλασική, εκκλησιαστική μουσική και άλλες.

Στην τέχνη του θεάτρου, η θέση που κατέχει το ραδιόφωνο είναι αξιοσημείωτη. Πιο αναλυτικά, οι θεατές μιας θεατρικής παράστασης έχουν την ευκαιρία να καλλιεργήσουν δύο από τις αισθήσεις τους, την ακοή και την όραση. Στην περίπτωση του ραδιοφώνου όμως, η αίσθηση της ακοής είναι αυτή που κυριαρχεί. Έτσι, η φαντασία του κοινού εξελίσσεται καθώς δημιουργείται στο μυαλό τους μια «αόρατη» εικόνα μέσω του ήχου. Αυτή η «αόρατη» εικόνα επιτρέπει στο θεατρικό κοινό να δημιουργεί στην φαντασία του, πρόσωπα, καταστάσεις και γεγονότα που αυτό επιθυμεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

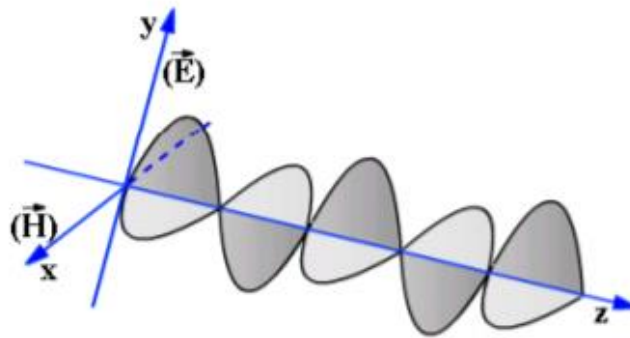
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα χρησιμοποιούνται στις ραδιοεπικοινωνίες για να εκπέμπουν και να λαμβάνουν σήματα σε ασύρματες ζεύξεις.

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι μια μορφή ενέργειας η οποία προκύπτει από τον συνδυασμό ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, που είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στην διεύθυνση διάδοσής τους.

Κάθε ηλεκτρικό κύκλωμα από το οποίο διέρχεται εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα ακτινοβολεί κάποια ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που λαμβάνει τη μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Στο παρακάτω σχήμα 2.1.1 απεικονίζονται τα δύο κάθετα πεδία (ηλεκτρικό E και μαγνητικό H), τα οποία εμφανίζονται ως ημιτονικά σήματα.



Σχήμα 2.1.1: Ηλεκτρομαγνητικό κύμα

Η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό είναι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός, το οποίο και αυτό είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

$$c = 300\,000 \text{ km/sec} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec} \quad (\text{Σχέση 2.1.1})$$

Όταν η διάδοση δεν γίνεται στο κενό αλλά σε κάποιο άλλο μέσο, η ταχύτητα είναι διαφορετική και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$c' = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}, \text{ όπου } \epsilon \text{ η διηλεκτρική σταθερά του υλικού} \quad (\text{Σχέση 2.1.2})$$

Το πιο σημαντικό μέγεθος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι το μήκος κύματος (λ). Ως μήκος κύματος ορίζεται η απόσταση που διανύει ένα κύμα σε χρονικό διάστημα περιόδου T του ηλεκτρικού σήματος από το οποίο ξεκίνησε.

Ισχύει:

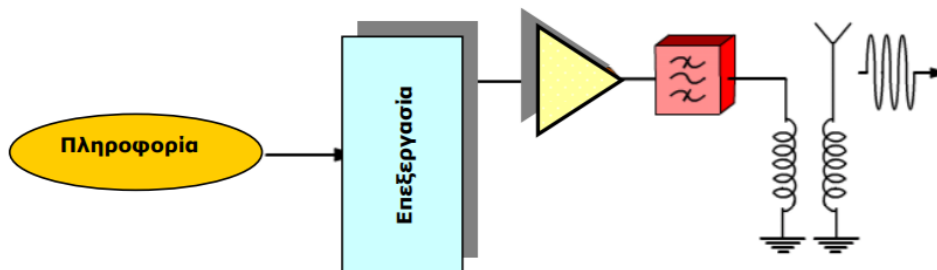
$$\lambda = c * T \text{ (Σχέση 2.1.3)}$$

Αν, αντί για την περίοδο, χρησιμοποιήσουμε την συχνότητα f , έχουμε:

$$f = 1/T, \text{ τότε } \lambda = c/f \text{ (Σχέση 2.1.4)}$$

2.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

Η μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα γίνεται στην κεραία που ακτινοβολεί την ενέργεια στον χώρο.



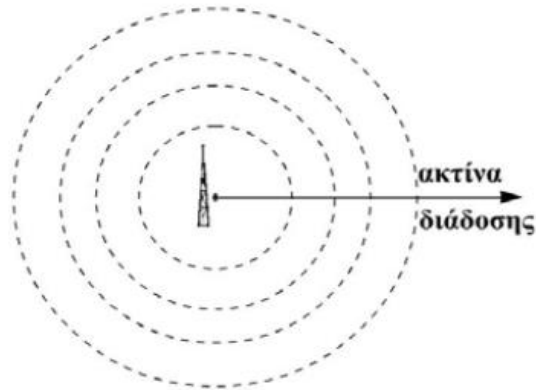
Σχήμα 2.2.1: Δημιουργία ηλεκτρομαγνητικού κύματος

Όσο η συχνότητα ενός σήματος είναι μεγαλύτερη, τόσο ευκολότερα ακτινοβολείται η ενέργειά του στον κενό χώρο. Πιο εύκολα ακτινοβολείται και διαδίδεται το σήμα με συχνότητα 1 MHz παρά με σήμα συχνότητας 1 kHz ή 500 Hz.

Ακόμη, ένα σήμα για να ακτινοβοληθεί με επιτυχία πρέπει να είναι ανάλογες οι διαστάσεις της κεραίας προς το μήκος του ακτινοβολούμενου σήματος.

2.3 ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται σφαιρικά στο κενό χωρίς εμπόδια και αποσβένεται η ισχύς του, αντιστρόφως ανάλογα προς το τετράγωνο της απόστασης. Όταν η απόσταση από την πηγή (δηλαδή την κεραία) διπλασιάζεται, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα γίνεται τέσσερις φορές πιο αδύναμο.



Σχήμα 2.2.2: Σφαιρική Διάδοση του Ηλεκτρομαγνητικού Κύματος

Για την διάδοση ενός κύματος στο κενό, οι τιμές του ηλεκτρικού πεδίου (E) και του μαγνητικού πεδίου (H) συνδέονται με την σχέση:

$$E/H = 120\pi = 377 \Omega \text{ (Σχέση 2.3.1)}$$

Η τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (E) μετριέται σε $Volt/m$, ενώ η ένταση του μαγνητικού πεδίου (H) σε A/m . Έτσι προκύπτει ότι το μέγεθος E/H μετριέται σε Ω όπου δηλώνει την ισοδύναμη αντίσταση του κενού.

Σε κάποια απόσταση από την πηγή δημιουργίας του ηλεκτρομαγνητικού κύματος (για παράδειγμα την κεραία εκπομπής) η ηλεκτρομαγνητική ισχύς ανά μονάδα επιφανείας, ονομάζεται πυκνότητα ισχύος και προκύπτει από τον τύπο:

$$\rho = E * H \text{ (Σχέση 2.3.2)}$$

Η πυκνότητα ισχύος μετριέται σε $(V/m) * (A/m) = Watt/m^2$, όπου η σχέση αυτή ονομάζεται θεώρημα του Πούτινγκ (Poynting).

2.4 ΠΟΛΩΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

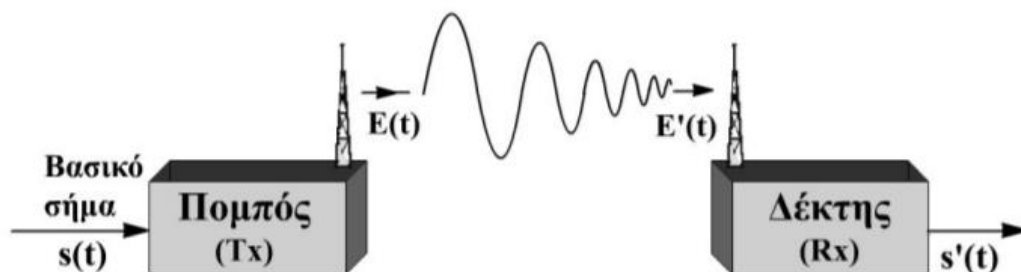
Πόλωση του κύματος ονομάζουμε το επίπεδο του ηλεκτρικού πεδίου που ορίζει την κατεύθυνση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Η πόλωση του κύματος έχει να κάνει με τον προσανατολισμό της κεραίας που το ακτινοβολεί. Όταν η κεραία είναι κατακόρυφη, δηλαδή το ηλεκτρικό πεδίο είναι κάθετο προς τη γη τότε, δημιουργεί, ηλεκτρομαγνητικό κύμα κατακόρυφα πολωμένο, ενώ όταν η κεραία είναι οριζόντια, δηλαδή το ηλεκτρικό πεδίο είναι παράλληλο προς τη γη, τότε λέμε ότι το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι οριζόντια πολωμένο. Όταν το επίπεδο ταλάντωσης του ηλεκτρικού πεδίου αλλάζει συνέχεια, δηλαδή περιστρέφεται, τότε λέμε ότι έχουμε κυκλική πόλωση του κύματος.

2.5 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα στις ραδιοεπικοινωνίες αποτελεί το μέσο μεταφοράς της πληροφορίας, που εκπέμπεται, ακτινοβολείται στο χώρο από την κεραία. Επίσης το ηλεκτρομαγνητικό κύμα μπορεί να ονομαστεί και ραδιοκύμα .

Τα ραδιοκύματα διαδίδονται σφαιρικά στο χώρο αλλά η διάδοσή τους παρεμβάλλεται από την καμπυλότητα της γης αλλά και με διάφορα εμπόδια όπως βουνά και ψηλά κτίρια.



Σχήμα 2.5.1: Γενικό διάγραμμα Ραδιοεπικοινωνίας

Η κεραία λήψης στο δέκτη δέχεται ένα μικρό ποσοστό ενέργειας του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Η ενέργεια αυτή ενισχύεται, επεξεργάζεται κατάλληλα

και μετατρέπεται στην έξοδο του δέκτη στο ωφέλιμο βασικό σήμα, δηλαδή την πληροφορία.

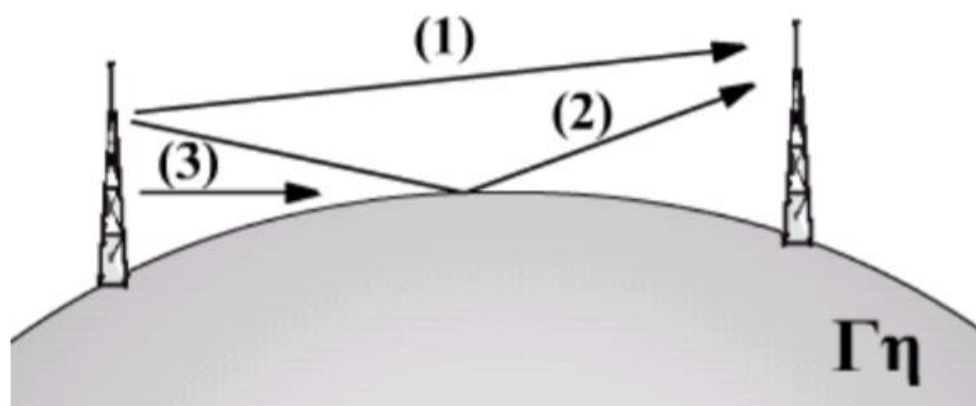
Στις μέρες μας θα μπορούσαμε να πούμε ότι ζούμε στην «εποχή της πληροφορίας». Ο αριθμός των πληροφοριών που μεταφέρεται από τον πομπό στον δέκτη είναι πολύ μεγάλος. Μεταφέρεται είτε με χάλκινα καλώδια είτε με οπτικές ίνες. Στην ασύρματη τηλεπικοινωνία η πληροφορία μεταφέρετε μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Σε κάθε μορφή τηλεπικοινωνίας η μεταδιδόμενη πληροφορία (ήχος) «μετατρέπεται» με το κατάλληλο μέσο (μικρόφωνο) σε ένα ηλεκτρικό ρεύμα (σήμα). Αυτό το ηλεκτρικό ρεύμα στην κεραία του πομπού, μετατρέπεται σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα, το οποίο κινείται με την ταχύτητα του φωτός και φτάνει στο δέκτη για να «μετατραπεί» ξανά σε ρεύμα και μετέπειτα σε ήχο.

Δύο διαφορετικοί δρόμοι ακολουθούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, κατά την διάδοσή τους από την κεραία του πομπού στην κεραία του δέκτη.

Ο πρώτος τρόπος διάδοσης του κύματος είναι πάνω από την επιφάνεια της γης (σχήμα 2.5.2) το οποίο σχηματίζει το λεγόμενο επιφανειακό κύμα η αλλιώς κύμα εδάφους. Σε αυτή την εικόνα απεικονίζεται το ραδιοκύμα το οποίο μπορεί να διαδοθεί από την κεραία εκπομπής στην κεραία λήψης χωρίς να απομακρύνεται πολύ από την επιφάνεια του εδάφους της γης με τους τρεις ακόλουθους τρόπους:

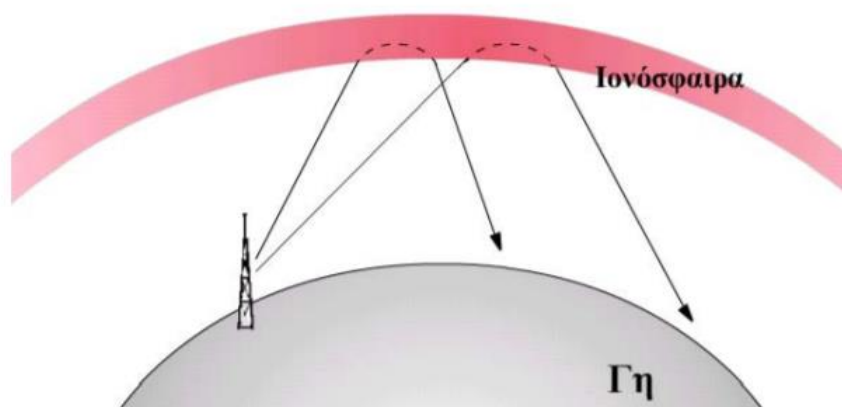
- Κατευθείαν
- Μετά από ανάκλαση στο έδαφος
- Με επαπτόμενο στο έδαφος κύμα επιφάνειας



Σχήμα 2.5.2: Κύματα εδάφους

Ο δεύτερος τρόπος διάδοσης του κύματος είναι το λεγόμενο κύμα χώρου (Ιονοσφαιρικό κύμα) το οποίο εκπέμπεται με γωνία προς την επιφάνεια της γης και διαδίδεται κατά μήκος των ανωτέρων στρωμάτων της ατμόσφαιρας.

Αναφορικά με την αντανάκλαση τα ραδιοκύματα εκπέμπονται προς τον ουρανό όπου ανάλογα με τη συχνότητα και την ώρα της μέρας ή της νύκτας αντανακλώνται πίσω στη γη από τα στρώματα της Ιονόσφαιρας και φτάνουν έτσι στην κεραία λήψης (σχήμα 2.5.3).



Σχήμα 2.5.3: Ιονοσφαιρικά κύματα

2.6 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα λέγεται το εύρος της περιοχής των συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται από μηδενικές έως άπειρες συχνότητες. Επίσης χωρίζεται σε κάποιες επιμέρους ζώνες με βάση κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Αυτές είναι τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, η υπέρυθρη ακτινοβολία, η ορατή ακτινοβολία (το φως), η υπεριώδης ακτινοβολία και οι ακτίνες X και γ.

Εν συνεχεία, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαφέρουν ως προς την κατευθυντικότητά τους, το μήκος κύματός τους και τη συχνότητάς τους. Ακόμα, η κάθε περιοχή των συχνοτήτων είναι για συγκεκριμένη χρήση. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι διεθνείς

οργανισμοί έδωσαν όνομα στην κάθε συχνοτική περιοχή προκειμένου να τυποποιηθεί η κάθε μία από αυτή.

Πιο αναλυτικά, για την τηλεόραση, την κινητή τηλεφωνία και τα ραντάρ χρησιμοποιείται η UHF περιοχή. Οι περιοχές SHF και EHF χρησιμοποιούνται για την δορυφορική επικοινωνία. Στις περιοχές HF, MF, LF και VLF χρησιμοποιούνται συχνότητες φωνής για την ραδιοφωνία αλλά και τον στρατό. Για το ραδιόφωνο και την τηλεόραση χρησιμοποιείται η VHF περιοχή η οποία χωρίζεται σε 3 περιοχές VHF I, II και III. Η περιοχή VHF I και III και τα κανάλια 1 - 4 και 5 - 12 παραχωρήθηκαν στην τηλεόραση ενώ η περιοχή VHF II με εύρος συχνοτήτων από 87,7 MHz έως 108 MHz στο ραδιόφωνο. Η VHF II εκπέμπει με διαμόρφωση FM. Οι υπέρυθρες ακτίνες (IR) χρησιμοποιούνταν για μεταφορά δεδομένων από τα κινητά τηλέφωνα πριν την κυκλοφορία του Bluetooth. Επίσης χρησιμοποιούνται και για τα κοινά τηλεκοντρόλ-τηλεχειριστήρια αλλά και για το κόλλημα και την αφαίρεση αέρα, σε προστατευτικά τζάμια τηλεφώνων. Στον παρακάτω πίνακα 2.6.1 παρουσιάζεται το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα που αφορά τις ραδιοεπικοινωνίες.

α/α	Ζώνη Συχνοτήτων (Hz)	Ονομασία	Συμβολισμός
1	100 – 3*10 ³	Άκρως χαμηλές συχνότητες	ELF
2	3*10 ³ – 30*10 ³	Υπέρμακρα	VLF
3	30*10 ³ – 300*10 ³	Μακρά	LF
4	300*10 ³ – 3*10 ⁶	Μεσαία	MF
5	3*10 ⁶ – 30*10 ⁶	Βραχεία	HF
6	30*10 ⁶ – 300*10 ⁶	Υπερβραχεία	VHF
7	300*10 ⁶ – 3*10 ⁹	Δεκατομετρικά Μικροκύματα	UHF
8	3*10 ⁹ – 30*10 ⁹	Εκατοστομετρικά Μικροκύματα	SHF
9	30*10 ⁹ – 300*10 ⁹	Χιλιοστομετρικά Μικροκύματα	EHF
10	300*10 ⁹ - 400*10 ¹²	Υπέρυθρη Ακτινοβολία	IR
11	400*10 ¹² – 800*10 ¹²	Ορατή Ακτινοβολία	-
12	800*10 ¹² – 3*10 ¹⁷	Υπεριώδης Ακτινοβολία	UV
13	3·10 ¹⁷ – 5*10 ¹⁹	Ακτίνες – X	X
14	5*10 ¹⁹ – 3*10 ²²	Ακτίνες – γ	γ
15	3*10 ²² - ...	Κοσμικές Ακτίνες	-

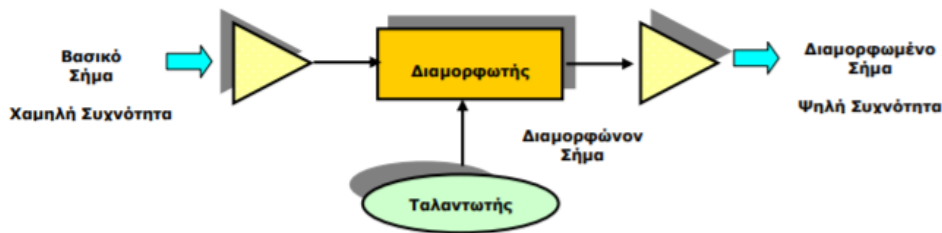
Πίνακας 2.6.1: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και ονοματολογία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

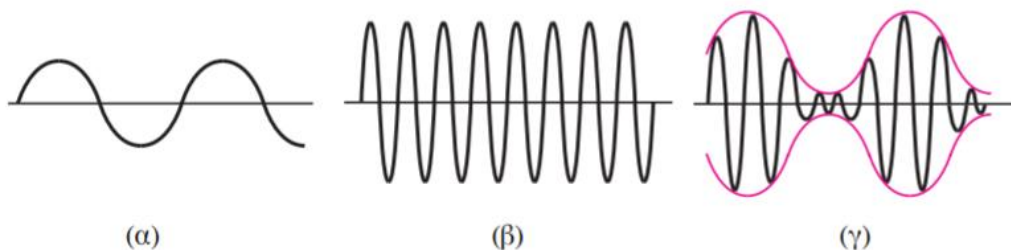
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

Διαμόρφωση είναι μία διαδικασία κατά την οποία μεταβάλλουμε κάποια χαρακτηριστικά ενός υψίσυχνου σήματος, ή αλλιώς φέροντος (carrier), σύμφωνα με το σήμα πληροφορίας που πρόκειται να μεταβιβαστεί. Το σήμα της πληροφορίας στέλνεται απευθείας μέσω τηλεφωνικής γραμμής από τον πομπό στον δέκτη.



Σχήμα 3.1.1: Γενική μορφή και διαδικασία διαμόρφωσης σήματος

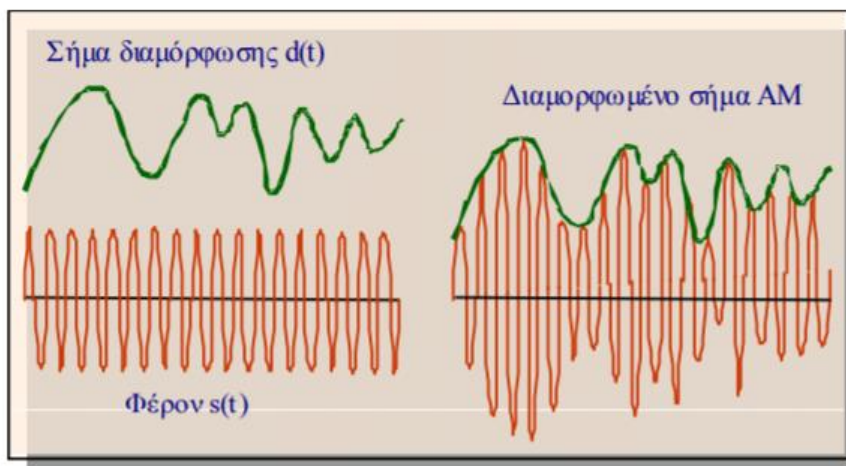
Η διαμόρφωση είναι απαραίτητη στις επικοινωνίες, σε μεγάλο βαθμό στις ασύρματες, γιατί το φέρον σήμα που εκπέμπει ο πομπός, είναι ένα ημιτονικό σήμα σταθερού πλάτους, συχνότητας και φάσης και κατά συνέπεια δεν περιέχει πληροφορία. Οι μέθοδοι διαμόρφωσης είναι πολλές αλλά οι πιο διαδεδομένες είναι δύο. Η μέθοδος διαμόρφωσης κατά την οποία μεταβάλλεται το πλάτος και η μέθοδος διαμόρφωσης κατά την οποία μεταβάλλεται η φάση ή η συχνότητα του φέροντος σήματος.



Σχήμα 3.1.2: Κυματομορφές (α) του σήματος πληροφορίας, (β) του φέροντος και (γ) του διαμορφωμένου κατά πλάτος φέροντος

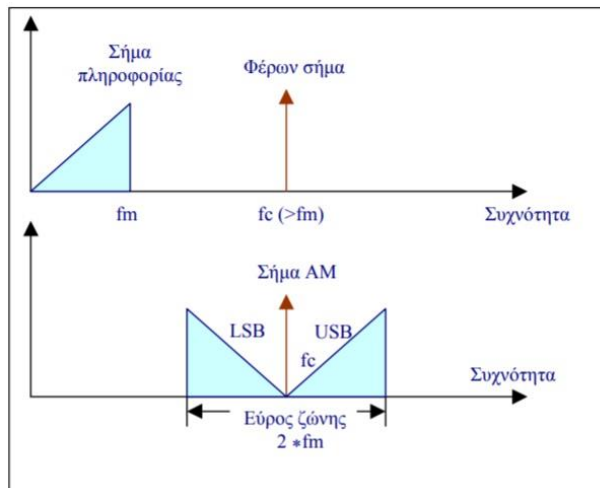
3.2 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΤΑ ΠΛΑΤΟΣ (AMPLITUDE MODULATION – AM)

Η διαμόρφωση πλάτους AM είναι μια αναλογική διαμόρφωση σήματος. Σε αυτήν την διαμόρφωση το πλάτος του υψίσυχνου φέροντος κύματος μεταβάλλεται ανάλογα με το πλάτος του σήματος πληροφορίας (δηλαδή του ακουστικού σήματος). Επίσης, το διαμορφωμένο σήμα AM έχει σταθερή συχνότητα και μεταβαλλόμενο πλάτος. Στο παρακάτω σχήμα 3.2.1 απεικονίζεται το σήμα της πληροφορίας χαμηλής συχνότητας που διαμορφώνει το πλάτος του φέροντος σήματος της υψηλής συχνότητας, με αποτέλεσμα ένα διαμορφωμένο σήμα AM, με σταθερή συχνότητα αλλά με μεταβαλλόμενο πλάτος.



Σχήμα 3.2.1: Διαμόρφωση σημάτων (AM)

Το φάσμα του AM σήματος απαρτίζεται από την κεντρική συχνότητα του φέροντος αλλά και τις συχνότητες του σήματος της πληροφορίας που μετατοπίζονται σε δύο πλευρικές περιοχές συχνοτήτων γύρω από την κεντρική συχνότητα του φορέα. Αυτές οι περιοχές λέγονται, πάνω πλευρική (Upper Side Band – USB) δηλαδή συχνότητες μεγαλύτερες από τη συχνότητα του φορέα και κάτω πλευρική (Lower Side Band – LSB) δηλαδή συχνότητες μικρότερες από τη συχνότητα του φορέα. Στο παρακάτω σχήμα 3.2.2 απεικονίζεται το φασματικό περιεχόμενο του σήματος AM.

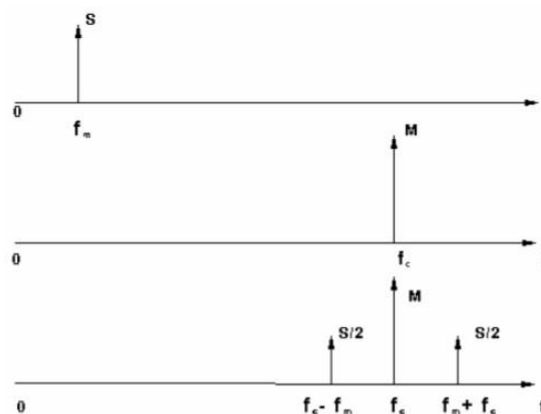


Σχήμα 3.2.2: Φασματικό Περιεχόμενο Σήματος AM

Το διαμορφωμένο φέρων σήμα που προέκυψε, αποτελείται από τρεις φασματικές ακτίνες στις συχνότητες:

- Κάτω πλευρική συχνότητα ($f_c - f_m$)
- Φέρουσα (f_c)
- Άνω πλευρική συχνότητα ($f_c + f_m$)

Στο παρακάτω σχήμα 3.2.3 φαίνεται η πρώτη ακτίνα η οποία είναι η φασματική ακτίνα του φέροντος σήματος αλλά και άλλες δύο οι οποίες λέγονται πλευρικές φασματικές ακτίνες που καταλαμβάνουν συμμετρικές θέσεις γύρω από την κεντρική συχνότητα f_c .



Σχήμα 3.2.3: Φάσματα σημάτων πριν και μετά την διαμόρφωση

Το εύρος ζώνης (δηλαδή το Bandwidth -BW) ενός σήματος AM είναι ανάλογο της μέγιστης συχνότητας f_{max} του σήματος της πληροφορίας, η οποία δίνεται από την

σχέση 3.2.1.

$$BW = 2 * f_{max} \quad (\text{Σχέση 3.2.1})$$

Ο συντελεστής διαμόρφωσης ορίζεται ως ο λόγος του πλάτους του βασικού σήματος προς το πλάτος του φέροντος σήματος. (σχέση 3.2.2)

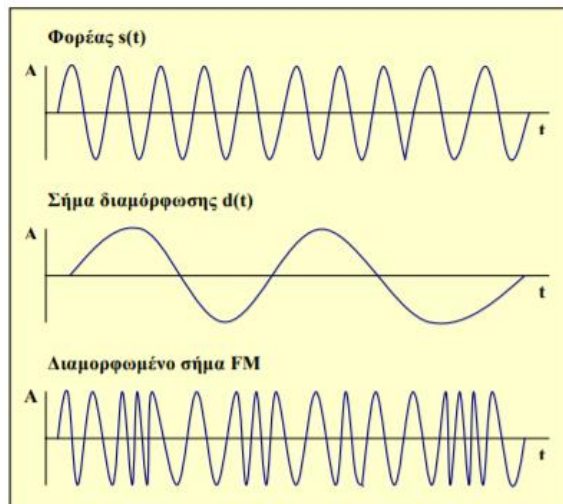
$$\mu = \frac{\text{Πλάτος Βασικού Σήματος}}{\text{Πλάτος Φέροντος Σήματος}} = \frac{(A_{max} - A_{min})}{(A_{max} + A_{min})} \quad (\text{Σχέση 3.2.2})$$

όπου A_{max} και A_{min} είναι το μεγαλύτερο ή το μικρότερο πλάτος του διαμορφωμένου σήματος και ο συντελεστής μ λογίζεται σαν καθαρός αριθμός ή σαν ποσοστό (%) και συνήθως είναι μικρότερος της μονάδας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ζώνη συχνοτήτων των μεσαίων κυμάτων AM κυμαίνεται από 560 kHz έως 1600 kHz και με εύρος ζώνης του διαμορφωμένου σήματος να περιορίζεται στα 5 kHz διεθνώς.

3.3 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΤΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (FREQUENCY MODULATION – FM)

Αρχικά, η διαδικασία με την οποία το σήμα της πληροφορίας μεταβάλλει ή διαμορφώνει την συχνότητα του φέροντος σήματος ονομάζεται διαμόρφωση συχνότητας FM. Ακόμα, η στιγμιαία συχνότητα του φέροντος σήματος μεταβάλλεται ανάλογα με το πλάτος του σήματος της πληροφορίας. Για παράδειγμα, το σήμα πληροφορίας μπορεί να είναι ένα τραγούδι που μεταδίδεται από το ραδιόφωνο και το φέρον σήμα το αντίστοιχο ραδιοφωνικό σήμα που εκπέμπεται από το ραδιοσταθμό.



Σχήμα 3.3.1: Διαμόρφωση συχνότητας (FM)

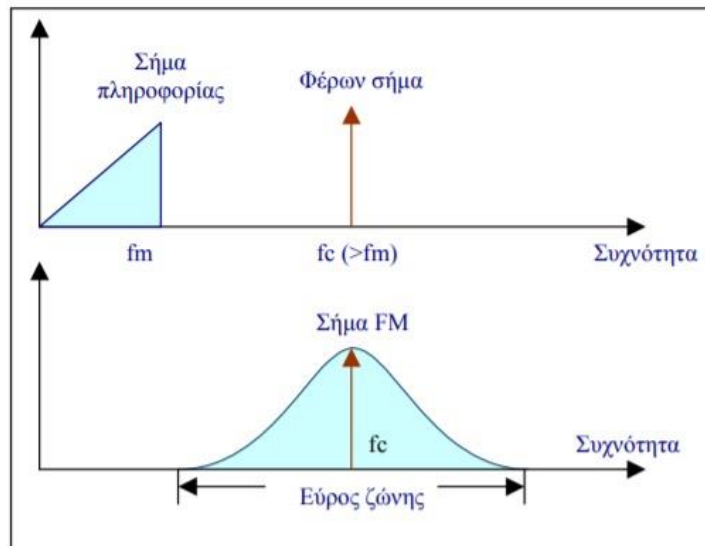
Στην FM διαμόρφωση το σήμα μεταφέρεται με τις αλλαγές στη συχνότητα της φέρουσας, ενώ ο θόρυβος επηρεάζει το πλάτος κάποιου άλλου σήματος. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι εκπομπές του ραδιοφώνου FM (δηλαδή, η μουσική και η φωνή) ακούγονται καλύτερα και πιστότερα από αυτές στα AM.

Ο δείκτης διαμόρφωσης (modulation index) β , είναι ένα πολύ σημαντικό μέγεθος στην FM διαμόρφωση για ένα διαμορφωμένο σήμα, που ορίζεται από την παρακάτω σχέση 3.3.1 .

$$\beta = \frac{\Delta f_c}{f_{m(MAX)}} \quad (\text{Σχέση 3.3.1})$$

Όπου Δf_c η μέγιστη απόκλιση συχνότητας (frequency deviation) του FM σήματος και ορίζεται ως η μέγιστη μεταβολή συχνότητας του φέροντος, λόγω της διαμόρφωσης. Επίσης, όπου $f_{m(MAX)}$ η μέγιστη συχνότητα του σήματος της πληροφορίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην ραδιοφωνία FM η μέγιστη επιτρεπτή απόκλιση συχνότητας έχει καθοριστεί στα 75 kHz.

Αναφορικά με το εύρος ζώνης του σήματος FM, το διαμορφωμένο αυτό σήμα αποτελείται από πολλές συχνότητες τις λεγόμενες αρμονικές, οι οποίες βρίσκονται γύρω από την κεντρική συχνότητα του φέροντος σήματος. Το πλάτος των αρμονικών μειώνεται συνέχεια όσο η τιμή τους απομακρύνεται από την κεντρική συχνότητα, για να γίνει αμελητέα σε συχνότητες που απέχουν πολύ από αυτή. (σχήμα 3.3.2)



Σχήμα 3.3.2: Εύρος Ζώνης σήματος FM

Επίσης, το εύρος ζώνης συχνοτήτων (Bandwidth – BW) του σήματος FM, είναι ένα ακόμη χρήσιμο μέγεθος για την διαμόρφωση FM, που ορίζεται ως η περιοχή συχνοτήτων στην οποία συγκεντρώνεται το 95% της ολικής ενέργειας του σήματος. Αυτή η σχέση δίνεται από τον κανόνα Carson που ακολουθεί. (σχέση 3.3.2)

$$BW = 2 * (\Delta f_c + f_{m(MAX)}) \text{ (Σχέση 3.3.2)}$$

Εν κατακλείδι, όσο μεγαλύτερη τιμή έχει ο δείκτης διαμόρφωσης τόσο μεγαλύτερο είναι το φασματικό εύρος του σήματος.

Η FM ραδιοφωνία βρίσκεται στη ζώνη VHF, 88 – 108 MHz

3.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ AM ΚΑΙ FM

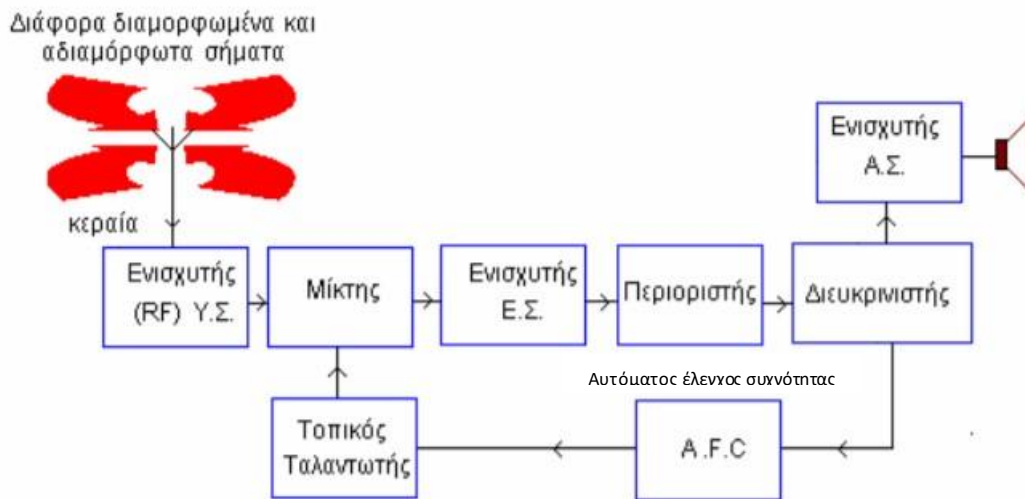
Αρχικά, η διαμόρφωση FM έχει λιγότερο θόρυβο και καλύτερη (πιστότητα) στη μετάδοση, σε σχέση με την AM διαμόρφωση. Γι' αυτό την χρησιμοποιούμε για εκπομπές ποιότητας στην FM ραδιοφωνία αλλά και στην μετάδοση του ήχου στην τηλεόραση. Στη συνέχεια, το φάσμα, της FM είναι ευρύτερο σε σχέση με την AM και αυτό προσφέρει λόγο σήματος ως προς τον θόρυβο. Τέλος, το μειονέκτημα του μεγάλου εύρους ζώνης που έχει ένα σήμα FM, το οποίο μεταφράζεται σε μικρότερο αριθμό καναλιών για την ίδια περιοχή συχνοτήτων, το αντιμετωπίζουμε με την χρήση της ζώνης VHF (88 – 108 MHz).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΙΔΕΣ ΡΑΔΙΟΦΩΝΟΥ

4.1 ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΚΤΗ FM

Ο ραδιοφωνικός δέκτης λαμβάνει ένα μικρό ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας του πομπού μαζί με διάφορα σήματα, μεγάλης ή μικρής ισχύος αλλά και αρκετό θόρυβο. Ο δέκτης έχει ως ρόλο να ενισχύει επιλεκτικά και να επεξεργάζεται μόνο το ωφέλιμο φέρον, για να αποδίδει στην έξοδο την πληροφορία. Κατά την σχεδίασή και την κατασκευή του λαμβάνονται υπόψιν αρκετοί παράγοντες αλλά και οι παράμετροι που επηρεάζουν τις επιδόσεις του. Σε γενικές γραμμές, επειδή ο δέκτης επεξεργάζεται σήματα μικρής ισχύος, απαιτεί πιο ευαίσθητα κυκλώματα από τον πομπό. Στη συνέχεια ακολουθεί, ένα μπλοκ διάγραμμα δέκτη FM (σχήμα 4.1.1) αλλά και η παρουσίαση της λειτουργίας του.



Σχήμα 4.1.1: Μπλοκ διάγραμμα δέκτη FM

Για να πετύχουμε μια καλή λήψη στα F.M. είναι απαραίτητο να υπάρχει μια κεραία η οποία αυξάνει το σήμα στην είσοδο του δέκτη. Το σήμα έπειτα υφίσταται μετάθεση συχνότητας στο μίκτη, με πολλαπλασιασμό του σήματος εισόδου με το σήμα του τοπικού ταλαντωτή. Στην έξοδό του μίκτη προκύπτει ένα σήμα το οποίο είναι η διαφορά του σήματος του ταλαντωτή και του σήματος F.M. που ονομάζεται ενδιάμεση συχνότητα και είναι διαμορφωμένη κατά συχνότητα. Στη συνέχεια εφ' όσον ενισχυθεί οδηγείται στο κύκλωμα αποδιαμόρφωσης που αποτελείται από τον περιοριστή και τον

διευκρινιστή. Το κύκλωμα αποδιαμόρφωσης διαχωρίζει την πληροφορία από το σήμα RF μετατρέποντας τις μεταβολές της συχνότητας σε μεταβολές τάσης. Το σήμα αυτό οδηγείται μέσω ενός ενισχυτή σε κάποιο μεγάφωνο, όπου το ακουστικό σήμα του δέκτη αναπαράγεται. Τέλος, στην έξοδο του αποδιαμορφωτή υπάρχει μία ανάδραση προς τον τοπικό ταλαντωτή, ώστε αυτός να μην επηρεάζεται από την αύξηση της θερμοκρασίας, κάτι που θα προκαλούσε αύξηση της συχνότητας. Αυτό ονομάζεται αυτόματος έλεγχος συχνότητας.

Πέρα από το στάδιο της αποδιαμόρφωσης, ένας δέκτης διακρίνεται από τη δυνατότητά του να ξεχωρίζει ένα σήμα που καταφθάνει σε αυτόν και να αποδίδει σωστά την πληροφορία που έχει μεταδοθεί, δηλαδή το σήμα βασικής ζώνης. Διακρίνεται λοιπόν από τα εξής χαρακτηριστικά:

- **Τη σταθερότητα (stability):** Χαρακτηρίζει την ικανότητα του δέκτη να διατηρεί την αρχική του ρύθμιση και το συντονισμό του σε ορισμένη συχνότητα. Η δεδομένη συχνότητα μετριέται σε Hz ή kHz απόκλισης από την αρχική του ρύθμιση (αρχικό συντονισμό).
- **Την ευαισθησία (sensitivity):** Πρόκειται για την ελάχιστη τιμή του σήματος εισόδου RF στο δέκτη, ώστε το ωφέλιμο ακουστικό σήμα στην έξοδο να είναι καθαρό. Η καθαρότητα του σήματος εκτιμάται έμμεσα από το πόσο ισχυρότερο είναι το ωφέλιμο σήμα από το θόρυβο στην έξοδο του δέκτη. Αυτό εκφράζεται ποσοτικά από το λόγο της ισχύος (S) του ωφέλιμου σήματος προς την ισχύ του ανεπιθύμητου θορύβου (N) που εμφανίζεται στην έξοδο. Μετριέται σε μV σήματος στην είσοδο. Συνήθως ο λόγος ισχύων S/N δίνεται σε dB.
- **Την πιστότητα (fidelity):** Χαρακτηρίζει την ικανότητα του δέκτη να αποδίδει στην έξοδο το σήμα της πληροφορίας χωρίς παραμορφώσεις.
- **Την επιλεκτικότητα (selectivity):** Χαρακτηρίζει την ιδιότητα του δέκτη, αφού συντονιστεί, να επιλέγει, να ενισχύει και να αποδιαμορφώνει το επιθυμητό φέρον και να μην επηρεάζεται από άλλες εκπομπές, ιδιαίτερα αυτές που λαμβάνουν χώρα σε γειτονικά κανάλια. Η επιλεκτικότητα εξαρτάται σημαντικά

από τη σταθερότητα και την ποιότητα των φίλτρων εισόδου και των φίλτρων του σταδίου ενδιάμεσης συχνότητας. Η επιλεκτικότητα χαρακτηρίζεται επίσης από το πόσο τα φίλτρα εισόδου απορρίπτουν τα ενοχλητικότερα σήματα, που είναι οι γειτονικοί δίαυλοι (adjacent channel rejection). Η επιλεκτικότητα ορίζεται από την ελάχιστη απόσταση συχνοτήτων όπου ο δέκτης μπορεί να διακρίνει ανεξάρτητες εκπομπές. Μετριέται σε Hz ή kHz.

- **Τη γραμμικότητα (linearity):** Χαρακτηρίζει την ικανότητα του δέκτη να συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο για ασθενή και ισχυρά σήματα στην είσοδό του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

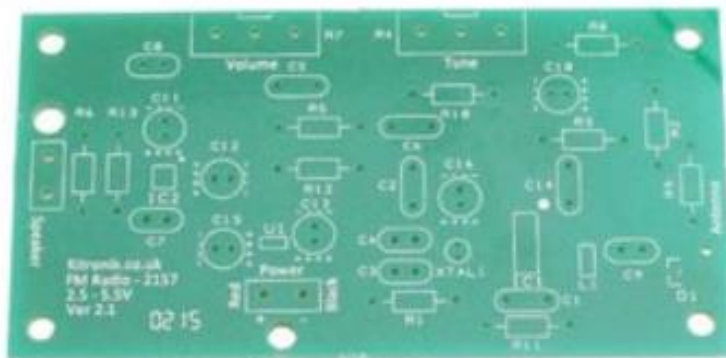
ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΕΚΤΗ FM

5.1 ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε και θα σχεδιάσουμε έναν ραδιοφωνικό δέκτη FM και κατόπιν θα προχωρήσουμε στο πρακτικό μέρος της εργασίας αυτής, την κατασκευή του δέκτη κάνοντας χρήση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και παθητικών εξαρτημάτων. Παρακάτω αναφέρονται και αναλύονται τα βασικά στοιχεία ενός πλήρως λειτουργικού ραδιοφώνου FM:

Πλακέτα PCB

Μια πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (Printed Circuit Board), είναι μια διάτρητη πλακέτα από βακελίτη η οποία χρησιμοποιείται για την υποστήριξη και διασύνδεση ηλεκτρονικών στοιχείων μέσω αγωγικών μονοπατιών τα οποία τυπώνονται πάνω στην πλακέτα. Μια τέτοια πλακέτα μπορεί να είναι μονής όψης, διπλής όψης είτε να αποτελείται από πολλαπλά επίπεδα ανάλογα με τις επιστρώσεις χαλκού. Αυτές οι πλακέτες διαθέτουν οπές για την τοποθέτηση ακροδεκτών ηλεκτρικών στοιχείων και τη δημιουργία κυκλωμάτων. Η κόλληση των στοιχείων απαιτεί τη χρήση κολλητηρίου και καλάνι ενώ η διασύνδεση τους απαιτεί χάλκινο αγωγό, ο οποίος λαμβάνεται από ξεγύμνωση καλωδίων με έναν κόφτη και stripper καλωδίου. Στην εργασία μας η πλακέτα μας έχει διαστάσεις: Μήκος PCB: 88mm, Πλάτος PCB: 46mm και χωράει 36 εξαρτήματα.



Σχήμα 5.1.1: Πλακέτα ραδιοφώνου PCB

Κεραία

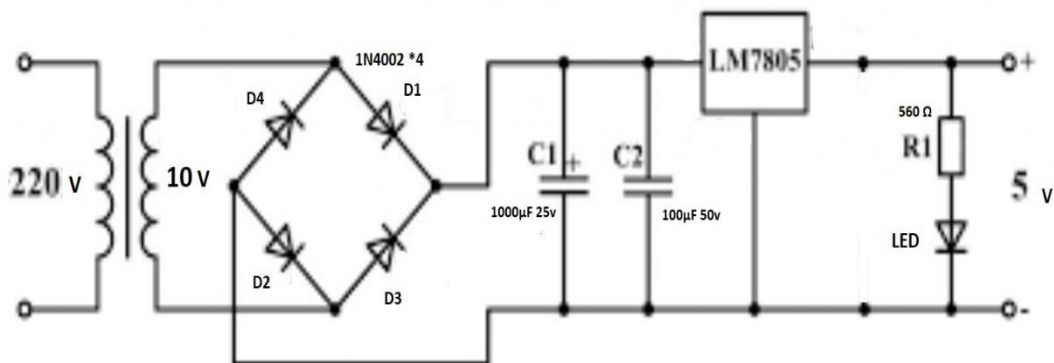
Η κεραία του ραδιοφώνου FM είναι μια απλή τηλεσκοπική κεραία, πτυσσόμενη με ελάχιστο μήκος 11cm και μέγιστο 49cm. Επειδή ο δέκτης FM δέχεται ηλεκτρομαγνητικά κύματα από όλες τις κατευθύνσεις, η τηλεσκοπική κεραία είναι ομοιοκατευθυντική με μοναδιαίο κέρδος.



Σχήμα 5.1.2: Τηλεσκοπική κεραία FM

Εξωτερικό τροφοδοτικό 5V

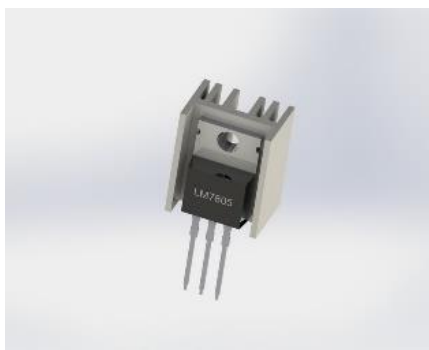
Το εξωτερικό τροφοδοτικό δέχεται ως είσοδο την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου 220V/50Hz και την μετατρέπει σε συνεχή τάση των 5V. Η ανόρθωση επιτυγχάνεται μέσω ενός μετασχηματιστή με λόγο τάσης 220V/10V σύνδεσης γειωμένου αστέρα – τριγώνου (YG-03D) και κατόπιν η πλήρης γέφυρα διόδων ανορθώνει την εναλλασσόμενη τάση. Δύο ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές των 1000μF, 100μF εξομαλύνουν την τάση εξόδου η οποία οδηγείται στο σύστημα σταθεροποίησης τάσης.



Σχήμα 5.1.3: Κύκλωμα τροφοδοτικού 5V

Σταθεροποιητής τάσης

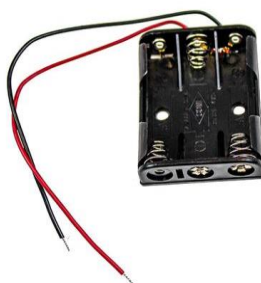
Ένας σταθεροποιητής (ρυθμιστής) τάσης είναι ένα σύστημα σχεδιασμένο να διατηρεί αυτόματα ένα σταθερό επίπεδο τάσης μέσω αρνητικής ανάδρασης. Μπορεί να χρησιμοποιεί ηλεκτρομηχανικό μηχανισμό ή ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Ανάλογα με τη σχεδίαση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη ρύθμιση μίας ή περισσότερων τάσεων AC ή DC. Στην εργασία μας χρησιμοποιείται το ολοκληρωμένο LM7805 όπως φαίνεται και στην εικόνα, το οποίο δίνει τάση εξόδου 5V και ρεύμα εξόδου 1,5A. Απαιτεί κατάλληλη ψήκτρα για αποβολή θερμότητας.



Σχήμα 5.1.4: Σταθεροποιητής τάσης LM7805

Μπαταριοθήκη

Η θήκη αυτή επιτρέπει την σύνδεση σε σειρά 3 μπαταριών AA των 1,5V και περιλαμβάνει καλώδια για εξωτερική τροφοδοσία κυκλώματος.



Σχήμα 5.1.5: Μπαταριοθήκη 3 μπαταριών AA των 1,5V

Μεγάφωνο

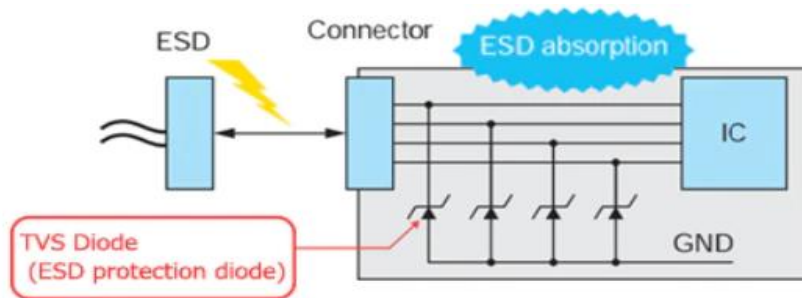
Μεγάφωνο 8Ω, διαμέτρου 66mm για μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος σε ηχητικό.



Σχήμα 5.1.6: Μεγάφωνο 8Ω

Δίοδος προστασίας ESD

Η δίοδος προστασίας ηλεκτροστατικής αποφόρτισης (Electrostatic Discharge) είναι ένα είδος διόδου Zener που χρησιμοποιείται κυρίως για αντιμετώπιση στατικού ηλεκτρισμού (ESD). Προστατεύει τα ολοκληρωμένα κυκλώματα και άλλα από το ESD υψηλής τάσης που εισέρχεται από μια γραμμή κ.λπ. Τα στατικά σοκ είναι αβλαβή για τους ανθρώπους, αλλά μπορούν να βλάψουν το πυρίτιο στο εσωτερικό ενός IC. Η δίοδος προστασίας ESD ανακατευθύνει οποιοδήποτε τέτοιο σοκ ακίνδυνα στο ζυγό γείωσης.



Σχήμα 5.1.7: Αρχή λειτουργίας διόδων ESD

Κρυσταλλικός ταλαντωτής

Ένας κρυσταλλικός ταλαντωτής XTAL1 είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που χρησιμοποιεί τον μηχανικό συντονισμό ενός δονούμενου κρυστάλλου από πιεζοηλεκτρικό υλικό για να δημιουργήσει ένα ηλεκτρικό σήμα με σταθερή συχνότητα. Αυτή η συχνότητα χρησιμοποιείται συχνά για την παρακολούθηση του χρόνου, όπως στα ρολόγια χειρός χαλαζία, για την παροχή σταθερού σήματος ρολογιού για ψηφιακά ολοκληρωμένα κυκλώματα, και για τη σταθεροποίηση συχνοτήτων για ραδιοπομπούς

και δέκτες ραδιοφώνου. Ο πιο κοινός τύπος πιεζοηλεκτρικού αντηχείου που χρησιμοποιείται είναι ο κρύσταλλος χαλαζία, οπότε τα κυκλώματα ταλαντωτών που τα ενσωματώνουν έγιναν γνωστά ως ταλαντωτές κρυστάλλου.



Σχήμα 5.1.8: Κρύσταλλος XTAL1

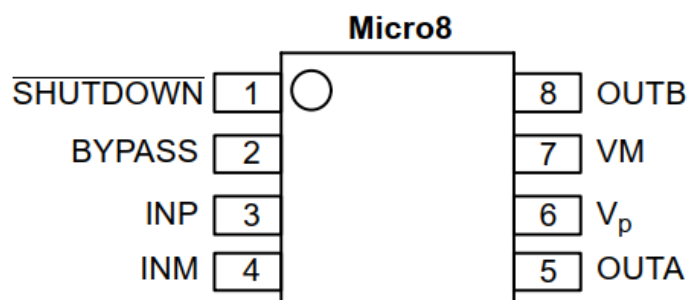
Ενισχυτής ήχου

Η ενίσχυση ήχου εκτελείται από άλλο ολοκληρωμένο κύκλωμα ή IC που ονομάζεται NCP2890-D. Μέσα στο NCP2890-D υπάρχουν πολλά τρανζίστορ, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους για να επιτρέψουν στο μικρό σήμα εισόδου να ενισχυθεί σε μια πιο ισχυρή έξοδο που μπορεί να οδηγήσει ένα μεγάφωνο. Το NCP2890 είναι ένας ενισχυτής ισχύος ήχου σχεδιασμένος για εφαρμογές φορητών συσκευών επικοινωνίας, όπως εφαρμογές κινητών τηλεφώνων. Το NCP2890 είναι ικανό να παρέχει 1.0 W συνεχούς μέσης ισχύος σε φορτίο 8.0 Ω BTL από τροφοδοτικό 5.0 V και 320 mW σε φορτίο 4.0 Ω BTL από τροφοδοσία 2.6 V.

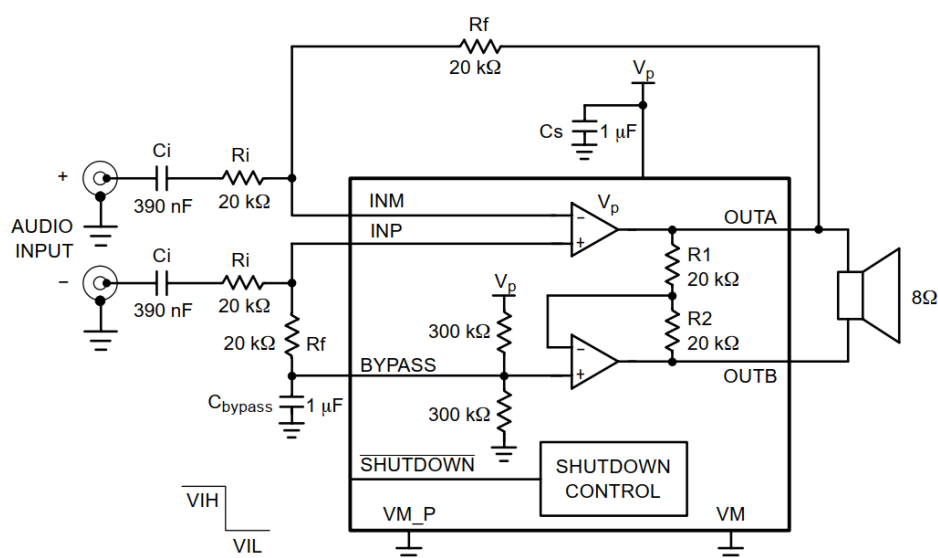
Το NCP2890 παρέχει ήχο υψηλής ποιότητας ενώ απαιτεί λίγα εξωτερικά εξαρτήματα και ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Διαθέτει λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, η οποία επιτυγχάνεται οδηγώντας το pin SHUTDOWN με λογικό low.

Το NCP2890 περιέχει κύκλωμα για την αποφυγή θορύβου "pop and click" που διαφορετικά θα συνέβαινε κατά τη διάρκεια των μεταβάσεων ενεργοποίησης και απενεργοποίησης.

Για μέγιστη ευελιξία, το NCP2890 παρέχει ένα εξωτερικό ελεγχόμενο κέρδος (με αντιστάσεις), καθώς και έναν εξωτερικό ελεγχόμενο χρόνο ενεργοποίησης και απενεργοποίησης (με τον πυκνωτή παράκαμψης).



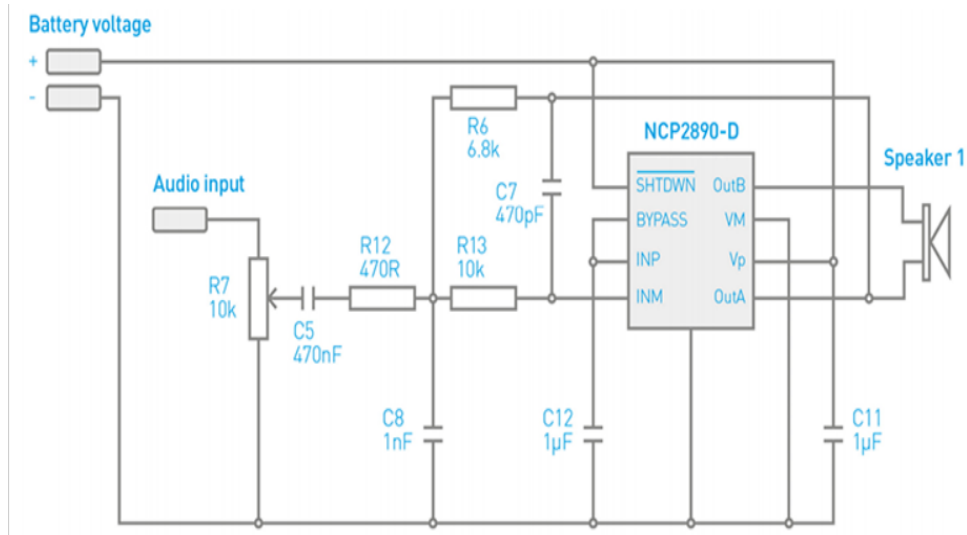
Σχήμα 5.1.9: Το chip ενίσχυσης NCP2890 και οι ακροδέκτες του



Σχήμα 5.1.10: Το layout του ενισχυτή ήχου με τα pins του

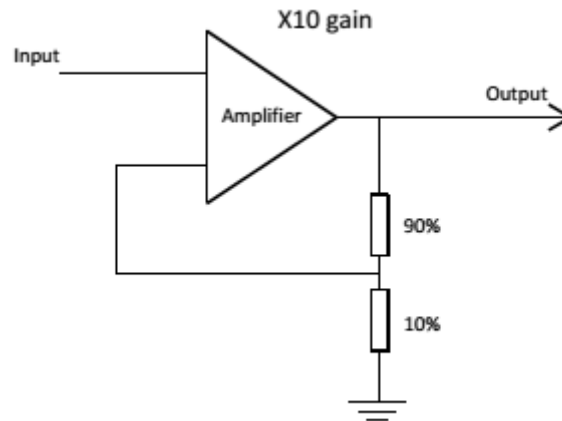
Type	Symbol	Description
I	INM	Negative input of the first amplifier, receives the audio input signal. Connected to the feedback resistor R_f and to the input resistor R_{in} .
O	OUTA	Negative output of the NCP2890. Connected to the load and to the feedback resistor R_f .
I	INP	Positive input of the first amplifier, receives the common mode voltage.
I	VM_P	Power Analog Ground.
I	VM	Core Analog Ground.
I	V_p	Positive analog supply of the cell. Range: 2.2 V–5.5 V.
I	BYPASS	Bypass capacitor pin which provides the common mode voltage ($V_p/2$).
O	OUTB	Positive output of the NCP2890. Connected to the load.
I	SHUTDOWN	The device enters in shutdown mode when a low level is applied on this pin.

Σχήμα 5.1.11: Χαρακτηριστικά και περιγραφή του ενισχυτή NCP2890



Σχήμα 5.1.12: Πλήρες σχηματικό του ενισχυτή και αναπαραγωγής ήχου.

Όλοι οι ενισχυτές πρέπει να χρησιμοποιούν ανατροφοδότηση για να διασφαλίσουν ότι το ποσό κέρδους παραμένει το ίδιο. Κάτι τέτοιο επιτρέπει στην έξοδο να είναι ένα ακριβές αντίγραφο της εισόδου απλώς πολύ μεγαλύτερο. Το κέρδος είναι ο αριθμός των φορών που η έξοδος είναι μεγαλύτερη συγκρινόμενη με την είσοδο, οπότε αν ένας ενισχυτής έχει κέρδος 10 και υπάρχει 1 volt στην είσοδο θα υπάρχουν 10 volt στην έξοδο. Πριν εξεταστεί το πώς λειτουργεί η ανατροφοδότηση, πρέπει πρώτα να γίνει κατανοητή η λειτουργία ενός τυπικού ενισχυτή. Ένας λειτουργικός ενισχυτής έχει δύο εισόδους, αυτές ονομάζονται εισόδος αντιστροφής (-) και μη αναστροφής (+). Η έξοδος του λειτουργικού ενισχυτή είναι η τάση στην είσοδο χωρίς αναστροφή μείον την τάση στην είσοδο αναστροφής πολλαπλασιαζόμενη με το κέρδος του ενισχυτή. Θεωρητικά, ένας λειτουργικός ενισχυτής έχει απεριόριστο κέρδος, οπότε αν η είσοδος μη αναστροφής είναι ένα κλάσμα υψηλότερο από την είσοδο αναστροφής (υπάρχουν περισσότερα + από -) η έξοδος θα ανεβεί στην τάση τροφοδοσίας. Εναλλαγή των εισόδων θα έχει σαν αποτέλεσμα η έξοδος θα φτάσει στα μηδέν volt. Σε αυτήν τη μορφή ο λειτουργικός ενισχυτής λειτουργεί ως συγκριτής, συγκρίνει δηλαδή τις δύο εισόδους και αλλάζει ανάλογα την έξοδο.



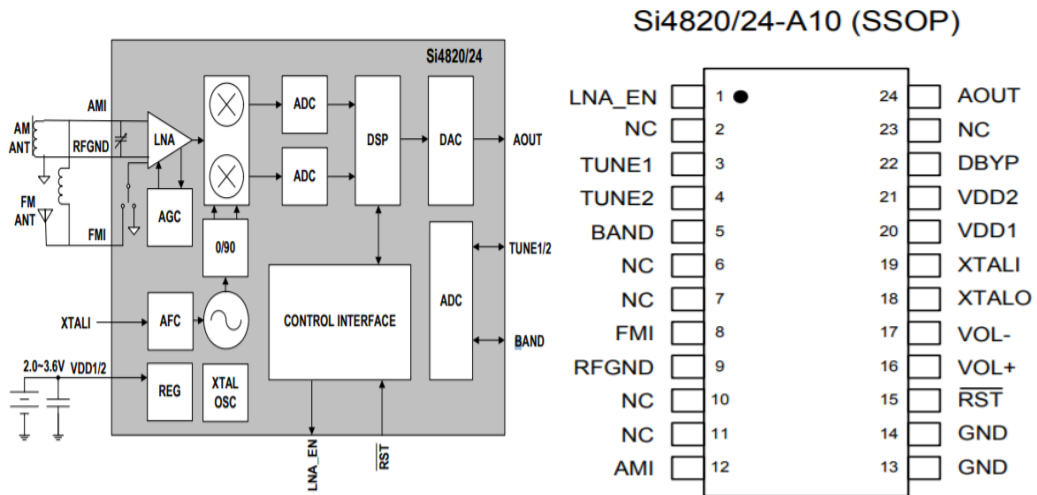
Σχήμα 5.1.13: Ανατροφοδότηση

Με ένα άπειρο κέρδος, ο ενισχυτής δεν είναι καλός να ενισχύει τον ήχο κι εδώ είναι που μπαίνει η ανατροφοδότηση. Δημιουργώντας μία είσοδο ως ποσοστό της εξόδου, το κέρδος μπορεί να διορθωθεί, κάτι που επιτρέπει στην έξοδο να είναι αντίγραφο της εισόδου, αλλά μεγαλύτερο. Εάν τώρα συγκρίνονται οι δύο εισοδοι και η έξοδος προσαρμόζεται (αντί να ανεβαίνει ή να κατεβαίνει μέχρι να φτάσει τα 0 βολτ ή V +) ,σταματά στο σημείο που ταιριάζουν οι δύο εισοδοι και η έξοδος είναι στην απαιτούμενη τάση.

Από το διάγραμμα κυκλώματος για τον ενισχυτή ήχου, φαίνεται ότι η R6 συνδέει τον ακροδέκτη «OutA» πίσω στον ακροδέκτη εισόδου «INM». Πρόκειται ουσιαστικά για την ανατροφοδότηση του ενισχυτή.

Συντονιστής και αποδιαμορφωτής FM

Το βασικό στοιχείο του ραδιοκυκλώματος είναι το chip Si4820/24-A10. Αυτό το chip χρησιμοποιείται για τη λήψη ραδιοφωνικών σημάτων μέσω «κεραίας» και στη συνέχεια αποκωδικοποιεί αυτό το σήμα για να ανακτήσει το ηχητικό σήμα που μεταφέρει. Για να ανακτήσει το ραδιοφωνικό σήμα, το chip πρέπει να δημιουργήσει ένα σήμα χρονισμού για να ταιριάζει με το ληφθέν ραδιοφωνικό σήμα. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας το κρύσταλλο χρονισμού XTAL1 και τους δύο πυκνωτές C3 και C4.



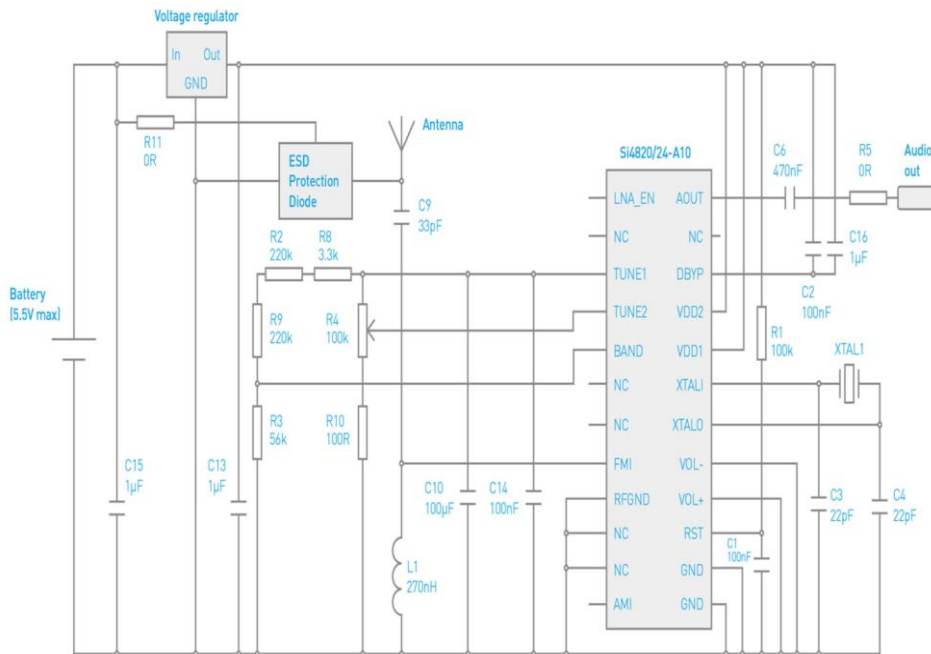
Σχήμα 5.1.13: Αριστερά: Το layout του ραδιοφωνικού chip Si4820 με τα pins του.

Δεξιά: Συνοπτικό σχηματικό του chip Si4820.

Name	Description
LNA_EN	Enable SW external LNA for Si4824
NC	No connect
TUNE1	Frequency tuning
TUNE2	Frequency tuning
BAND	Band selection and de-emphasis selection
NC	No connect. Leave floating.
FMI	FM RF inputs. FMI should be connected to the antenna trace.
RFGND	RF ground. Connect to ground plane on PCB.
NC	Unused. Tie these pins to GND.
AMI	AM RF input. AMI should be connected to the AM antenna.
GND	Ground. Connect to ground plane on PCB.
RST	Device reset (active low) input
VOL+	Volume button up
VOL-	Volume button down
XTALO	Crystal oscillator output
XTALI	Crystal oscillator input
VDD1	Supply voltage. May be connected directly to battery.
VDD2	Supply voltage. May be connected directly to battery.
DBYP	Dedicated bypass for VDD
NC	No connect. Leave floating
AOUT	Audio output

Σχήμα 5.1.14: Χαρακτηριστικά και περιγραφή του chip Si4820.

Κύκλωμα λήψης και αποκωδικοποίησης



Σχήμα 5.1.15: Πλήρες σχηματικό του κυκλώματος λήψης και αποκωδικοποίησης

Για να λειτουργήσει το ραδιοκύκλωμα χρειάζεται σταθερή παροχή ρεύματος. Για την παροχή σταθερής τροφοδοσίας χρησιμοποιείται ένας ρυθμιστής τάσης. Αυτός παρέχει έξοδο 3.3V για να τρέξει το κύκλωμα. Οι πυκνωτές C15 και C13 βοηθούν τον ρυθμιστή να παράγει σταθερή τάση αφαιρώντας θόρυβο από την είσοδο και την έξοδο.

Το δίκτυο αντιστάσεων που αποτελείται από R2, R3, R4, R8, R9 και R10 ελέγχει το εύρος ή «ζώνη» συχνοτήτων στις οποίες το IC μπορεί να συντονιστεί. Διαφορετικές χώρες χρησιμοποιούν διαφορετικές ζώνες για ραδιόφωνο FM και αυτές οι τιμές έχουν επιλεγεί για καλύτερη απόδοση στο Ηνωμένο Βασίλειο και την Ευρώπη. Το R4 είναι ένα ποτενσιόμετρο που μπορεί να εναλλάσσεται από σταθμό σε σταθμό.

Οι L1 και C9 βοηθούν στο φιλτράρισμα ανεπιθύμητων σημάτων που λαμβάνονται από την κεραία. Τα C10 και C14 συμβάλλουν στη διατήρηση του σταθερού σήματος συντονισμού στο IC, για να αποφευχθούν οι διακυμάνσεις της ισχύος που μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα το IC να «χάσει» τον σταθμό στον οποίο έχει συντονιστεί.

Το C1 ελέγχει το χρονισμό επαναφοράς του IC κάτι που σε αυτήν την περίπτωση ισχύει μόνο όταν ενεργοποιείται η συσκευή καθώς αυτός ο ακροδέκτης διατηρείται χαμηλός από το R1. Το C6 παίρνει οποιαδήποτε τάση DC από το σήμα εξόδου από το

ραδιόφωνο IC και τα R5 και R11 ενεργούν μόνο ως καλώδια σύνδεσης για «άλμα» πάνω από ίχνη στο PCB.

Παθητικά στοιχεία

Το κύκλωμα του ραδιοφωνικού δέκτη FM που θα υλοποιήσουμε κάνει χρήση των ακόλουθων παθητικών στοιχείων που απεικονίζονται στο παρακάτω πίνακα:

Ποσότητα	Εξαρτήματα	Τιμές
1	σταθερό πηνίο	270nH
1	ποτενσιόμετρο 16mm γραμμικό	100K
1	ποτενσιόμετρο 16mm γραμμικό	10K
5	ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές	1μF
3	κεραμικοί πυκνωτές	100nF
1	κεραμικό πυκνωτή	33pF
2	κεραμικοί πυκνωτές	22pF
2	κεραμικοί πυκνωτές	470nF
1	κεραμικός πυκνωτής	470pF
1	κεραμικός πυκνωτής	1nF
1	ηλεκτρολυτικός πυκνωτής	100μF
2	αντιστάσεις	220K
1	αντίσταση	56K
1	αντίσταση	3.3K
1	αντίσταση	100K
2	αντιστάσεις	0R
1	αντίσταση	6.8K
1	αντίσταση	470R
1	αντίσταση	10K
1	αντίσταση	100R

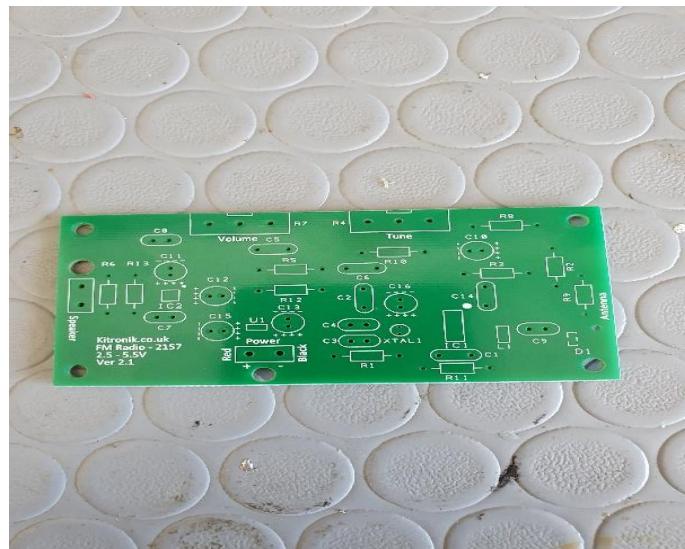


Σχήμα 5.1.16: α) Πίνακας παθητικών στοιχείων β) Ηλεκτρολυτικοί και κεραμικοί πυκνωτές, αντιστάσεις.

5.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Μετά το σχεδιασμό, το πρώτο βήμα για την υλοποίηση του ραδιοφωνικού δέκτη FM είναι η αγορά των απαραίτητων ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και ηλεκτρικών στοιχείων. Για την εκτέλεση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε το Kitronik FM Radio Kit V2.0 , ένα εκπαιδευτικό ηλεκτρονικό κιτ ραδιοφωνικού δεκτή fm που με τις κατάλληλες διατάξεις τροφοδοσίας και συσκευασίας μπορεί να ενσωματωθεί σε πολλές εφαρμογές.

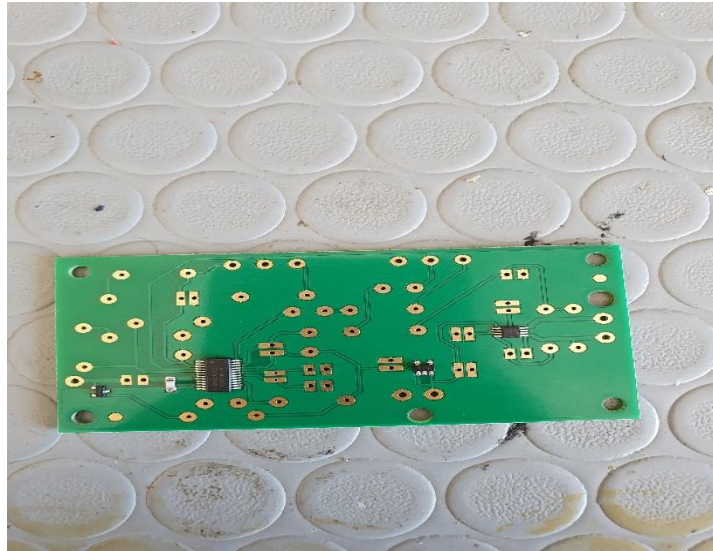
1^ο Βήμα



Εικόνα 5.2.1: Πίσω μέρος πλακέτας

Επισκόπηση της πλακέτας PCB. Αναγνώριση των θέσεων που θα κολληθούν τα διάφορα εξαρτήματα πχ R1, C1, XTAL1.

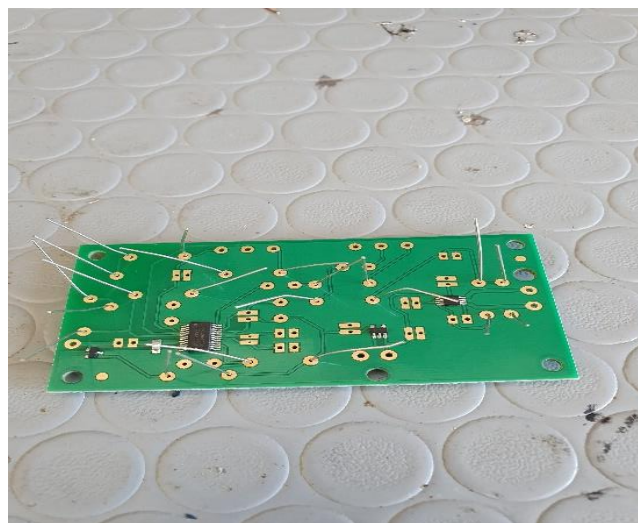
2^ο Βήμα



Εικόνα 5.2.2: Πίσω μέρος πλακέτας

Τα chips Si4820/24-A10, NCP2890-D είναι προεγκατεστημένα καθώς και το σταθερό πηνίο 270nH και ο ρυθμιστής TLV700 3.3V LDO 200mA (ESD προστασία) είναι προσυναρμολογημένα.

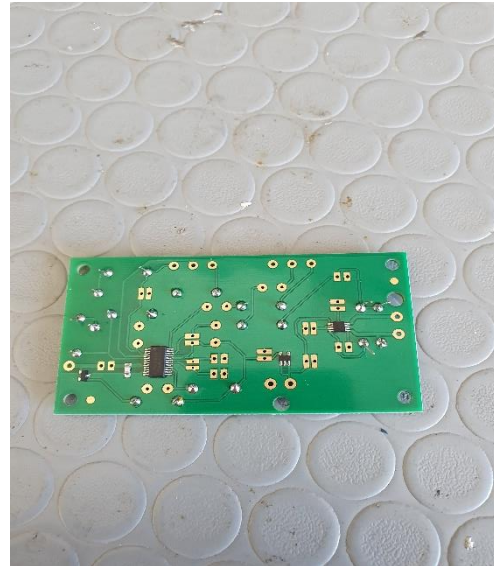
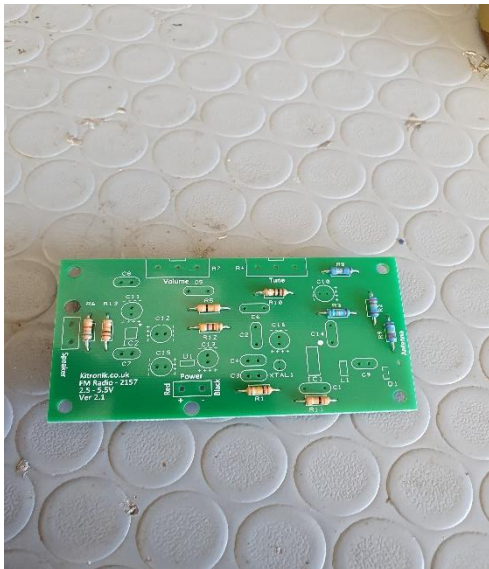
3^ο Βήμα



Εικόνα 5.2.3: Πίσω μέρος πλακέτας

Τοποθέτηση αντιστάσεων στις επισημασμένες θέσεις πάνω στην πλακέτα. Οι αγωγοί των ακροδεκτών (ποδαράκια) πρέπει να κοπούν για αποφυγή βραχυκυκλώματος.

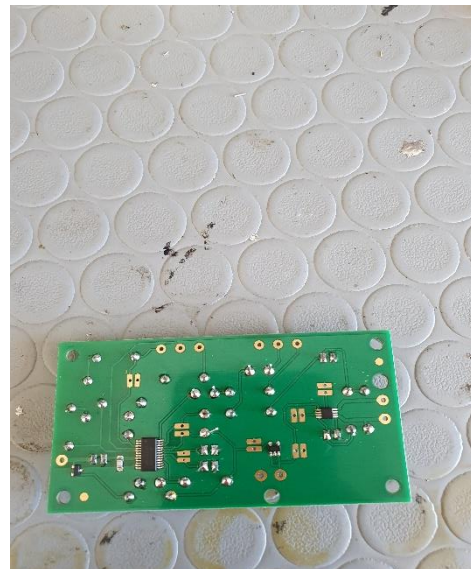
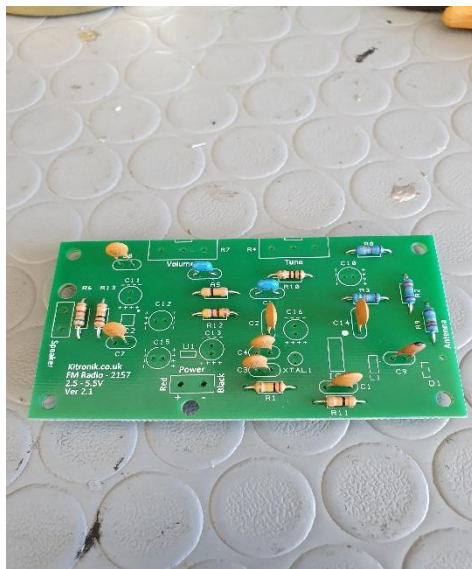
4^ο Βήμα



Εικόνα 5.2.4:(α- β)Πίσω μέρος πλακέτας

Επισκόπηση του κυκλώματος (πάνω και κάτω όψη) με τις απαραίτητες αντιστάσεις κολλημένες με κολλητήρι και καλά.

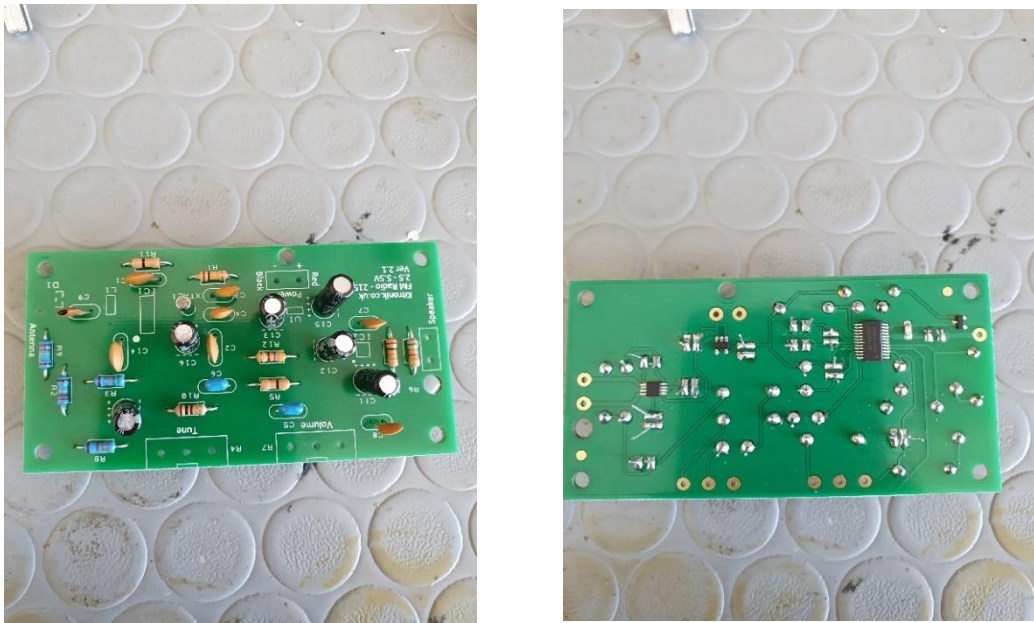
5^ο Βήμα



Εικόνα 5.2.5:(α- β)Πίσω μέρος πλακέτας

Τοποθέτηση των κεραμικών πυκνωτών στις επισημασμένες θέσεις πάνω στην πλακέτα. Επισκόπηση του κυκλώματος (πάνω και κάτω όψη) με τους απαραίτητους πυκνωτές κολλημένους με κολλητήρι και καλά.

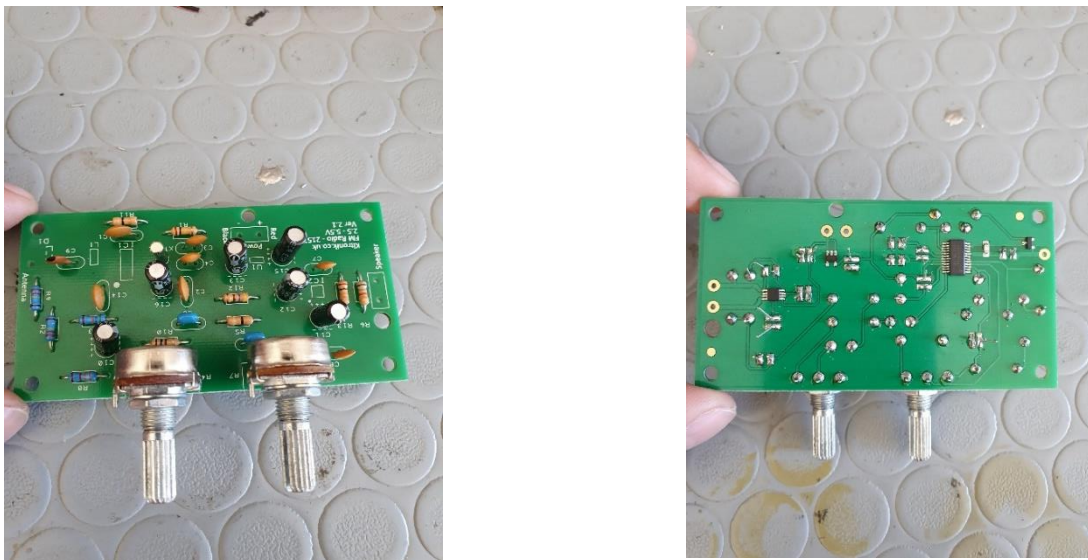
6^ο Βήμα



Εικόνα 5.2.6:α) Μπροστινό μέρος πλακέτας **β)** Πίσω μέρος πλακέτας

Τοποθέτηση των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών με τη σωστή πόλωσή τους και του κρυστάλλου XTAL1 στις επισημασμένες θέσεις πάνω στην πλακέτα. Επισκόπηση του κυκλώματος (πάνω και κάτω όψη) με όλα τα παθητικά στοιχεία κολλημένα με κολλητήρι και καλά.

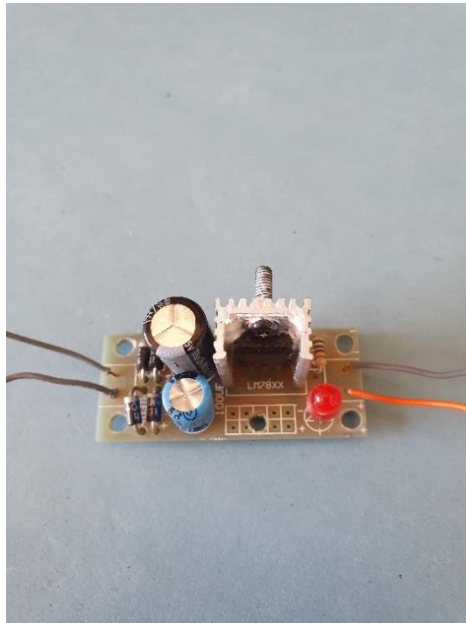
7^ο Βήμα



Εικόνα 5.2.7:α) Μπροστινό μέρος πλακέτας **β)** Πίσω μέρος πλακέτας

Εγκατάσταση των δύο ποτενσιόμετρων 100KΩ και 10KΩ στην πλακέτα. Το πρώτο ποτενσιόμετρο (100K) χρησιμοποιείται για συντονισμό στον επιθυμητό ραδιοφωνικό σταθμό ενώ το δεύτερο (10K) για ρύθμιση της έντασης του ήχου.

8^ο Βήμα



Εικόνα 5.2.8: DC τροφοδοσίας 5V

Υλοποίηση του συστήματος παροχής DC τροφοδοσίας 5V με σταθεροποίηση τάσης χρησιμοποιώντας το ολοκληρωμένο LM7805 με την ψήκτρα του. Προσοχή δόθηκε στις διόδους και την πολικότητά τους.

9^ο Βήμα



Εικόνα 5.2.9: μπαταριοθήκη

Υλοποίηση του συστήματος συσσωρευτών χρησιμοποιώντας 3 ΑΑ μπαταρίες των 1.5V στην μπαταριοθήκη τους.

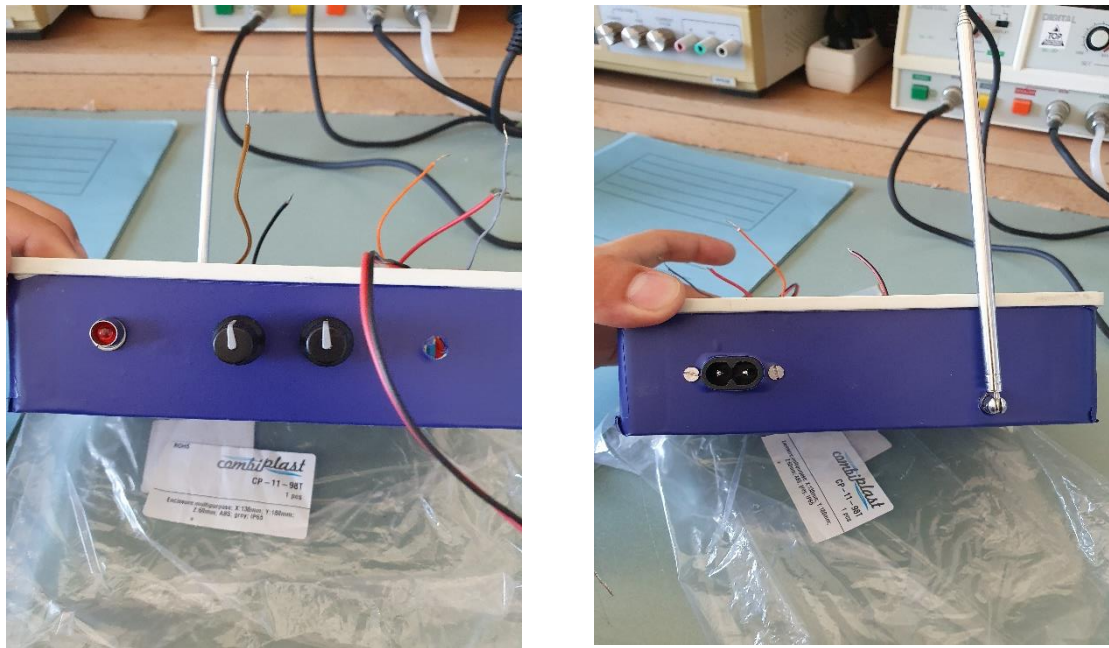
10^ο Βήμα



Εικόνα 5.2.10: Εσωτερικό ραδιοφώνου

Διασύνδεση και τοποθέτηση όλων των προαναφερθέντων εξαρτημάτων του ραδιοφωνικού δέκτη FM σε κατάλληλη συσκευασία (κουτί). Στην εικόνα απεικονίζεται η πλακέτα PCB με τα ποτενσιόμετρα και το ενδεικτικό LED, το σύστημα εξωτερικής τροφοδοσίας με τον μετασχηματιστή 220/10 V και το σχετιζόμενο φως, η μπαταριοθήκη για κινητές εφαρμογές εκτός ηλεκτρικού δικτύου, το σύστημα σταθεροποίησης τάσης και η τηλεσκοπική κεραία. Αναφορικά με τις κινητές εφαρμογές αντί να χρησιμοποιήσουμε δύο ξεχωριστούς διακόπτες χρησιμοποιήθηκε ένας τριών θέσεων (ON – OFF – ON) και με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης επιλέγει αν θέλει να λειτουργεί το ραδιόφωνο με μπαταρίες ή όχι.

11^ο Βήμα



Εικόνα 5.2.11: α) Μπροστινή όψη και β) Πίσω όψη

Τοποθέτηση κουμπιών στα ποτενσιόμετρα και επισκόπηση των εξωτερικών διεπαφών του ραδιοφωνικού δέκτη.

12^ο Βήμα



Εικόνα 5.2.12: Πάνω όψη ραδιοφώνου

Τοποθέτηση μεγαφώνου και ειδικού προστατευτικού. Για καλύτερη ακουστική απόδοση, έγινε χάραξη μικρών οπών στο καπάκι, πάνω από το μεγάφωνο.

13^ο Βήμα



Εικόνα 5.2.13: Τελική μορφή του ραδιοφώνου

Ο ραδιοφωνικός δέκτης FM είναι ολοκληρωμένος και έτοιμος για χρήση.

5.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΚΤΗ FM

Από τα data sheets των NCP2890 και Si4820/24-A10 αναφέρονται τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

Ονομαστική τάση: 5V.

Εύρος τάσης: 2.5V - 5.5V.

Πλάτος μέγιστης τάσης: 6V.

Τυπικό ρεύμα ηρεμίας: 20 mA.

Μέγιστο ρεύμα σε ονομαστική τάση: 250 mA.

Εύρος συχνοτήτων: 64 – 109 MHz

Εύρος θερμοκρασίας: -40° C - +85 ° C

Επιλεκτικότητα γειτονικού καναλιού: 45 dB σε δοκιμές ± 200 kHz

Επιλεκτικότητα εναλλακτικού καναλιού: 60 dB σε δοκιμές ± 400 kHz

Ευαισθησία: 4 μ V ή -94.95 dBm (S/N = 26 dB)

Σηματοθορυβικός λόγος (SNR): 45 dB

Ολική αρμονική παραμόρφωση (THD): 0.1 – 0.5 %

Χρόνος μεταγωγής σταθμού: 110ms

Καταπίεση AM συχνοτήτων: 50dB

Κρυσταλλικός ταλαντωτής: 32.768 kHz

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΔΕΚΤΗΣ ΕΜΠΟΡΙΟΥ

6.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΕΚΤΗ ΕΜΠΟΡΙΟΥ

Για σύγκριση επιλέχθηκε το ραδιόφωνο εμπορίου Kenwood KDC-3024A:



Εικόνα 6.1.1: Ο δέκτης FM Kenwood KDC-3024A

Παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα οι δύο δέκτες με κάποια χαρακτηριστικά τους:

	Δέκτης εργασίας	Δέκτης εμπορίου
Εύρος συχνοτήτων	64 – 109 MHz	87.5 – 108 MHz
Ευσαιθησία	-94.95 dBm (4 μ V)	-110.1 (0.7 μ V)
Σηματοθορυβικός λόγος	45 dB	65 dB
Επιλεκτικότητα	60 dB	\geq 80 dB
Εύρος τάσης	2.5 – 5.5 V	11 – 16 V
Ρεύμα σε ονομαστική τάση	250 mA	10 A

Πίνακας 6.1.1: Σύγκριση των δύο δεκτών

Εύρος συχνοτήτων

Παρατηρούμε ότι και οι δύο δέκτες λειτουργούν στο καθορισμένο φάσμα της ραδιοφωνίας FM 87.5 – 108 MHz. Ο δέκτης της εργασίας έχει όμως 23.5 MHz μεγαλύτερο εύρος ζώνης για πρακτικές εφαρμογές και προσωπική χρήση, μόνο για διαμόρφωση FM.

Ευαισθησία

Η ευαισθησία του δέκτη όπως έχει προαναφερθεί δηλώνει την ελάχιστη ισχύ λήψης για ανίχνευση και αποδιαμόρφωση ενός σήματος. Ο δέκτης του εμπορίου έχει μικρότερη ευαισθησία κατά -9 dBm περίπου οπότε είναι ελαφρώς καλύτερος από το δέκτη της εργασίας.

Σηματοθορυβικός λόγος

Ο σηματοθορυβικός λόγος αφορά το σύστημα ενίσχυσης ήχου του δέκτη και το κατά πόσο αυτό επηρεάζεται από τον περιβαλλοντικό θόρυβο. Όσο μεγαλύτερος ο λόγος τόσο καλύτερη η ποιότητα ήχου. Ο δέκτης του εμπορίου έχει 20 dB παραπάνω SNR οπότε πραγματοποιεί καλύτερη ενίσχυση με λιγότερο θόρυβο.

Επιλεκτικότητα

Η επιλεκτικότητα έχει να κάνει με την απόρριψη ανεπιθύμητων συχνοτήτων οπότε ο δέκτης εμπορίου υπερτερεί καθώς έχει 20 dB μεγαλύτερη επιλεκτικότητα.

Απόκριση συχνότητας (-3dB)

Η απόκριση συχνότητας εκφράζει το εύρος ζώνης που το πλάτος του σήματος διατηρείται σχεδόν σταθερό, στην πράξη εκεί που η ισχύς πέφτει στο μισό δηλαδή -3dB. Παρατηρούμε ότι έχουν ακριβώς την ίδια απόκριση οι δύο δέκτες.

Ολική αρμονική παραμόρφωση (THD)

Η ολική αρμονική παραμόρφωση εκφράζεται ως ο λόγος ισχύος των αρμονικών συχνοτήτων προς την ισχύ της θεμελιώδης συχνότητας. Όσο μικρότερος τόσο μικρότερη παραμόρφωση θα έχει ο ήχος. Παρατηρούμε ότι ο δέκτης Kenwood έχει 1 τάξη μεγέθους μικρότερο THD % από τον δέκτη της εργασίας.

Ισχύς εξόδου

Η ισχύς εξόδου σχετίζεται με την ένταση του ήχου από το μεγάφωνο οπότε όσο μεγαλύτερη τάση και ρεύμα εξόδου τόσο πιο δυνατός ο ήχος εξόδου. Συνεπώς ο δέκτης Kenwood καταναλώνει περισσότερη ισχύ εισόδου άρα και η ισχύς εξόδου θα ναι μεγαλύτερη οπότε θα παράγει δυνατότερο ήχο.

Παρατηρούμε ότι ο δέκτης εμπορίου αποδεικνύεται καλύτερο ραδιοφωνικό σύστημα καθώς έχει μικρότερη ευαισθησία, μεγαλύτερη επιλεκτικότητα και υψηλότερο σηματοθορυβικό λόγο. Ωστόσο, απαιτεί μεγαλύτερες τιμές τάσης και καταναλώνει πολύ περισσότερο ρεύμα άρα και ισχύ οπότε έχει περισσότερο κόστος. Συνοψίζοντας, ο δέκτης της παρούσας εργασίας είναι ένας πολύ καλός ραδιοφωνικός δέκτης FM καθώς επιτυγχάνει παραπλήσια χαρακτηριστικά με έναν εμπορικό δέκτη μεγάλης εταιρείας με πολύ μικρότερο κόστος. Προφανώς προορίζεται για προσωπική χρήση σε χώρους με λίγο θόρυβο και παρεμβολές λόγω της ονομαστικής ευαισθησίας του και επιλεκτικότητας αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ

Ο δέκτης ραδιοφώνου FM που κατασκευάστηκε μπορεί να επεκταθεί και να βελτιωθεί η λειτουργικότητά του. Για παράδειγμα προτείνονται οι παρακάτω βελτιώσεις:

- Γραφική απεικόνιση της συχνότητας

Ο κατασκευασμένος δέκτης μπορεί μεν να συντονίζεται σε όλες τις συχνότητες του ραδιοφωνικού φάσματος αλλά δεν επιτρέπει στο χρήστη να δει την συντονισμένη συχνότητα και επομένως τον σταθμό FM. Η προσθήκη μιας οθόνης που θα μπορεί να απεικονίζει τη συχνότητα αλλά και η προσθήκη ενός πολύστροφου ποτενσιόμετρου θα βελτίωνε την εμπειρία του χρήστη.

- Περισσότερα μεγάφωνα

Θα μπορούσαν να προστεθούν περισσότερα μεγάφωνα για καλύτερη ηχητική απόδοση πχ στερεοφωνική ακρόαση. Ωστόσο, θα πρέπει να μουν 2 x 16 Ohm ηχεία και να τοποθετηθούν παράλληλα επειδή αυτό δίνει συνολική αντίσταση 8 Ohms, ή να μουν 2 x 4 Ohm σε σειρά για συνολική αντίσταση 8 Ohms.

- Περισσότερες κεραίες

Θα μπορούσε να προστεθεί μια επιπλέον κεραία για διαφορισμό ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση των πολλαπλών μονοπατιών από ανακλάσεις.

- Εξισορροπιστής καναλιού

Θα μπορούσε να προστεθεί ένας εξισορροπιστής καναλιού για αντιμετώπιση του θορύβου και καλύτερη αποκωδικοποίηση / υψηλότερο σηματοθορυβικό λόγο.

- Δέκτης Bluetooth

Θα μπορούσε να συνδεθεί ένας έτοιμος δέκτης Bluetooth, με φως – καλωδίωση και με την χρήση διακόπτη επιλογής να μπορούσε να παίζει μουσική από το κινητό ή από οποιαδήποτε πηγή Bluetooth

- Είσοδος και έξοδοι

Σαν επιπρόσθετα χαρακτηριστικά θα ήταν η ύπαρξη βύσματος για ακουστικά αλλά και έξοδος για σύνδεση σε κάποιον ενισχυτή

7.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, η αρχική ιδέα και σκέψη ήταν να σχεδιαστεί εξ ολοκλήρου ένα ραδιόφωνο χωρίς την βοήθεια κάποιου kit. Αυτό όμως τελικά ήταν αδύνατον λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών που είχαμε να αντιμετωπίσουμε κατά την περίοδο της πανδημίας.

Έτσι, λοιπόν, προτιμήθηκε το kit 2157 Kitronik fm radio kit V2.0, το οποίο είναι ένα εκπαιδευτικό ηλεκτρονικό kit ραδιοφωνικού δεκτή fm, το οποίο θα ήταν και πιο αξιόπιστο αλλά και δεν θα χρειαζόταν τόσο κατασκευαστικό χρόνο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπήρξαν ιδιαίτερες δυσκολίες στην κατασκευή παρά μόνο να γίνουν σωστά οι τρύπες στο κουτί, οι κολλήσεις και γενικά η τοποθέτηση όλων των εξαρτημάτων. Το ραδιόφωνο μετά τις δοκιμές που έγιναν πριν τοποθετηθεί στο κουτί του, δούλεψε επιτυχώς και μάλιστα η απόδοση και η εμβέλεια του ήταν πολύ ικανοποιητική χωρίς να έχει να ζηλέψει σε τίποτα ένα ραδιόφωνο του εμπορίου.

Επίσης, μία έξτρα προσθήκη που την θεωρώ πολύ σημαντική σε αυτού του είδους την κατασκευή είναι η φορητότητά της, καθώς δουλεύει και με ρεύμα παροχής 240V αλλά και με μπαταρίες. Την επιλογή αυτήν μας την δίνει ο ειδικός διακόπτης τριών θέσεων. Η κατανάλωσή της συσκευής είναι πολύ χαμηλή όσο αναφορά το ρεύμα και αυτό μας δίνει την ευκαιρία πολύωρης χρήσης.

Επιπρόσθετα, σαν μειονεκτήματα θα μπορούσαν να αναφερθούν τα εξής: η κατασκευή αυτή δεν έχει κάποια οθόνη η κάποιον δείκτη με τον οποίο να μπορεί ο χρήστης να επιλέγει την συχνότητα που θέλει να ακούσει. Ακόμη, ο όγκος του ραδιοφώνου είναι αρκετά μεγάλος και βαρύς.

Τέλος, όλη η κατασκευή και μετρήσεις γίναν στο εργαστήριο ηλεκτρονικών του τμήματος. Το κόστος της κατασκευής αυτής μαζί με όλα τα υλικά που χρειάστηκαν ξεπερνά τα 50 €. Σίγουρα είναι αρκετά πιο ακριβό σε σχέση με ένα κοινό ραδιόφωνο του εμπορίου αλλά είναι λογικό γιατί είχαμε να κάνουμε με μια μεμονωμένη κατασκευή.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

NCP2890

1.0 Watt Audio Power Amplifier

The NCP2890 is an audio power amplifier designed for portable communication device applications such as mobile phone applications. The NCP2890 is capable of delivering 1.0 W of continuous average power to an 8.0 Ω BTL load from a 5.0 V power supply, and 320 mW to a 4.0 Ω BTL load from a 2.6 V power supply.

The NCP2890 provides high quality audio while requiring few external components and minimal power consumption. It features a low-power consumption shutdown mode, which is achieved by driving the SHUTDOWN pin with logic low.

The NCP2890 contains circuitry to prevent from “pop and click” noise that would otherwise occur during turn-on and turn-off transitions.

For maximum flexibility, the NCP2890 provides an externally controlled gain (with resistors), as well as an externally controlled turn-on and turn-off times (with the bypass capacitor).

Due to its excellent PSRR, it can be directly connected to the battery, saving the use of an LDO.

This device is available in a 9-Pin Flip-Chip CSP (standard Tin-Lead and Lead-Free versions) and a Micro8™ package.

Features

- Pb-Free Packages are Available
- 1.0 W to an 8.0 Ω BTL Load from a 5.0 V Power Supply
- Excellent PSRR: Direct Connection to the Battery
- “Pop and Click” Noise Protection Circuit
- Ultra Low Current Shutdown Mode
- 2.2 V–5.5 V Operation
- External Gain Configuration Capability
- External Turn-on and Turn-off Time Configuration Capability
- Up to 1.0 nF Capacitive Load Driving Capability
- Thermal Overload Protection Circuitry

Typical Applications

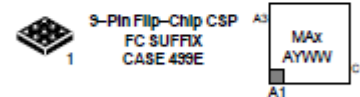
- Portable Electronic Devices
- PDAs
- Wireless Phones



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

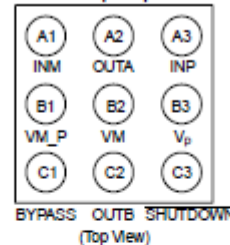
MARKING DIAGRAMS



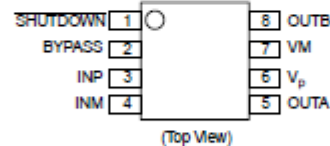
- x - Specific Device Code, G or H
- A, R - Assembly Location
- Y - Year
- WW, W - Work Week

PIN CONNECTIONS

9-Pin Flip-Chip CSP



Micro8



ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 4 of this data sheet.

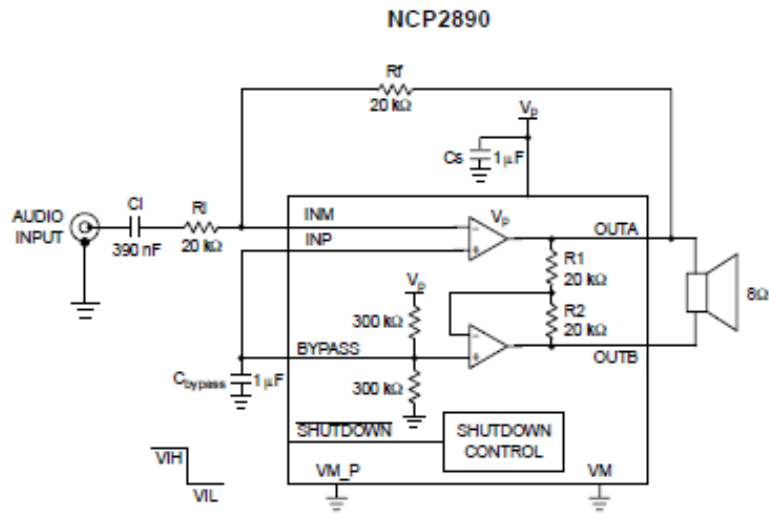


Figure 1. Typical Audio Amplifier Application Circuit with Single Ended Input

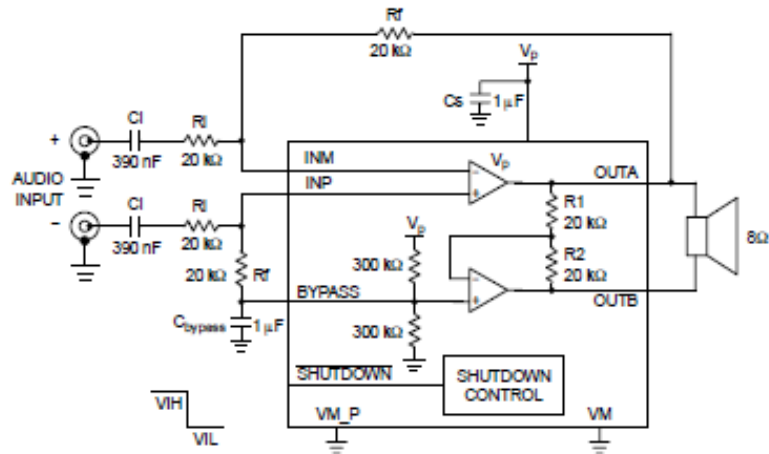


Figure 2. Typical Audio Amplifier Application Circuit with a Differential Input

This device contains 671 active transistors and 1899 MOS gates.

NCP2890

PIN DESCRIPTION

9-Pin Flip-Chip CSP	Micro8	Type	Symbol	Description
A1	4	I	INM	Negative input of the first amplifier, receives the audio input signal. Connected to the feedback resistor R_f and to the input resistor R_{in} .
A2	5	O	OUTA	Negative output of the NCP2890. Connected to the load and to the feedback resistor R_f .
A3	3	I	INP	Positive input of the first amplifier, receives the common mode voltage.
B1	NA	I	VM_P	Power Analog Ground.
B2	7	I	VM	Core Analog Ground.
B3	6	I	V_p	Positive analog supply of the cell. Range: 2.2 V–5.5 V.
C1	2	I	BYPASS	Bypass capacitor pin which provides the common mode voltage ($V_p/2$).
C2	8	O	OUTB	Positive output of the NCP2890. Connected to the load.
C3	1	I	SHUTDOWN	The device enters in shutdown mode when a low level is applied on this pin.

MAXIMUM RATINGS (Note 1)

Rating	Symbol	Value	Unit	
Supply Voltage	V_p	6.0	V	
Operating Supply Voltage	Op V_p	2.2 to 5.5 V 2.0 V = Functional Only	-	
Input Voltage	V_{in}	-0.3 to $V_{cc} + 0.3$	V	
Max Output Current	I_{out}	500	mA	
Power Dissipation (Note 2)	P_d	Internally Limited	-	
Operating Ambient Temperature	T_A	-40 to +85	°C	
Max Junction Temperature	T_J	150	°C	
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	°C	
Thermal Resistance Junction-to-Air	$R_{\theta JA}$	230 (Note 3)	°C/W	
ESD Protection	Human Body Model (HBM) (Note 4) Machine Model (MM) (Note 5)	-	>2500 >250	V

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

- Maximum electrical ratings are defined as those values beyond which damage to the device may occur at $T_A = +25^\circ\text{C}$.
- The thermal shutdown set to 160°C (typical) avoids irreversible damage on the device due to power dissipation. For further information see page 10.
- For the 9-Pin Flip-Chip CSP package, the $R_{\theta JA}$ is highly dependent of the PCB Heatsink area. For example, $R_{\theta JA}$ can equal 195°C/W with 50 mm^2 total area and also 135°C/W with 500 mm^2 . For further information see page 10. The bumps have the same thermal resistance and all need to be connected to optimize the power dissipation.
- Human Body Model, 100 pF discharge through a 1.5 k Ω resistor following specification JESD22/A114.
- Machine Model, 200 pF discharged through all pins following specification JESD22/A115.

NCP2890

ELECTRICAL CHARACTERISTICS Limits apply for T_A between -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$ (Unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	Conditions	Min (Note 6)	Typ	Max (Note 6)	Unit
Supply Quiescent Current	I_{QD}	$V_p = 2.6\text{ V}$, No Load	-	1.5	4	mA
		$V_p = 5.0\text{ V}$, No Load	-	1.7		
		$V_p = 2.6\text{ V}$, $8\ \Omega$	-	1.7	5.5	
		$V_p = 5.0\text{ V}$, $8\ \Omega$	-	1.9		
Common Mode Voltage	V_{CM}	-	-	$V_p/2$	-	V
Shutdown Current	I_{SD}	-	-	10	600	nA
Shutdown Voltage High	V_{SDH}	-	1.2	-	-	V
Shutdown Voltage Low	V_{SDL}	-	-	-	0.4	V
Turning On Time (Note 8)	T_{WU}	$C_{\text{BY}} = 1\ \mu\text{F}$	-	285	-	ms
Turning Off Time (Note 8)	T_{SD}	$C_{\text{BY}} = 1\ \mu\text{F}$ and $V_p = 5.0\text{ V}$	-	385	-	ms
Output Swing	V_{loadpeak}	$V_p = 2.6\text{ V}$, $R_L = 8.0\ \Omega$	1.6	2.12	-	V
		$V_p = 5.0\text{ V}$, $R_L = 8.0\ \Omega$ (Note 7)	4.0	4.15	-	
Rms Output Power	P_O	$V_p = 2.6\text{ V}$, $R_L = 4.0\ \Omega$ THD + N < 0.1%	-	0.36	-	W
		$V_p = 2.6\text{ V}$, $R_L = 8.0\ \Omega$ THD + N < 0.1%	-	0.28	-	
		$V_p = 5.0\text{ V}$, $R_L = 8.0\ \Omega$ THD + N < 0.1%	-	1.08	-	
Maximum Power Dissipation (Note 8)	P_{Dmax}	$V_p = 5.0\text{ V}$, $R_L = 8.0\ \Omega$	-	-	0.65	W
Output Offset Voltage	V_{OS}	$V_p = 2.6\text{ V}$ $V_p = 5.0\text{ V}$	-30		30	mV
Signal-to-Noise Ratio	SNR	$V_p = 2.6\text{ V}$, $G = 2.0$ $10\text{ Hz} < F < 20\text{ kHz}$	-	84	-	dB
		$V_p = 5.0\text{ V}$, $G = 10$ $10^3\text{ Hz} < F < 20\text{ kHz}$	-	77	-	
Positive Supply Rejection Ratio	PSRR V+	$G = 2.0$, $R_L = 8.0\ \Omega$ $V_{\text{ripple_pp}} = 200\text{ mV}$ $C_{\text{BY}} = 1.0\ \mu\text{F}$ Input Terminated with $10\ \Omega$				dB
		$F = 217\text{ Hz}$	-	64	-	
		$V_p = 5.0\text{ V}$	-	72	-	
		$V_p = 3.0\text{ V}$	-	73	-	
		$V_p = 2.6\text{ V}$	-	75	-	
		$F = 1.0\text{ kHz}$	-	64	-	
		$V_p = 5.0\text{ V}$	-	74	-	
		$V_p = 3.0\text{ V}$	-	75	-	
		$V_p = 2.6\text{ V}$	-	75	-	
Efficiency	η	$V_p = 2.6\text{ V}$, $P_{\text{ORMS}} = 320\text{ mW}$ $V_p = 5.0\text{ V}$, $P_{\text{ORMS}} = 1.0\text{ W}$	-	48 63	- -	%
Thermal Shutdown Temperature (Note 9)	T_{SD}		140	160	180	$^{\circ}\text{C}$
Total Harmonic Distortion	THD	$V_p = 2.6$, $F = 1.0\text{ kHz}$ $R_L = 4.0\ \Omega$, $A_V = 2.0$ $P_O = 0.32\text{ W}$	-	0.04	-	%
		$V_p = 5.0\text{ V}$, $F = 1.0\text{ kHz}$ $R_L = 8.0\ \Omega$, $A_V = 2.0$ $P_O = 1.0\text{ W}$	-	0.02	-	

6. Min/Max limits are guaranteed by design, test or statistical analysis.

7. This parameter is not tested in production for 9-Pin Flip-Chip CSP package in case of a 5.0 V power supply.

8. See page 11 for a theoretical approach of these parameters.

9. For this parameter, the Min/Max values are given for information.

NCP2890

Typical Performance Characteristics

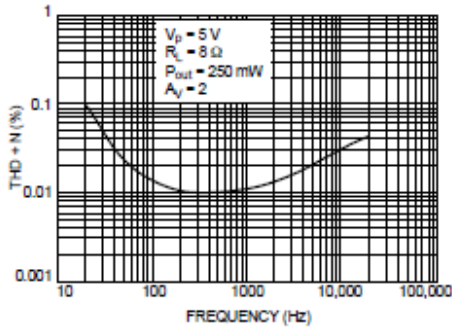


Figure 1. THD + N versus Frequency

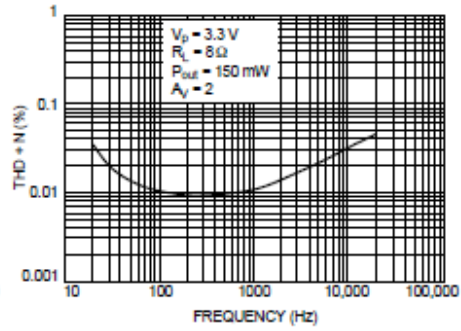


Figure 2. THD + N versus Frequency

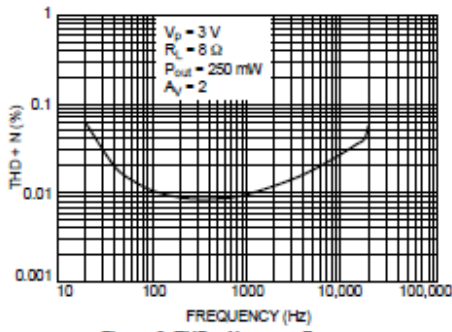


Figure 3. THD + N versus Frequency

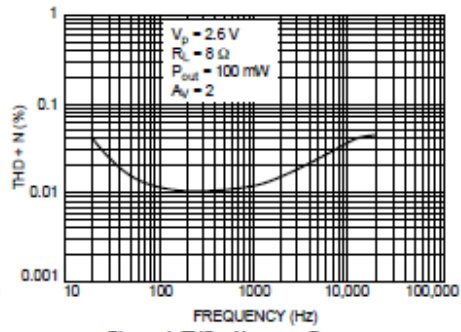


Figure 4. THD + N versus Frequency

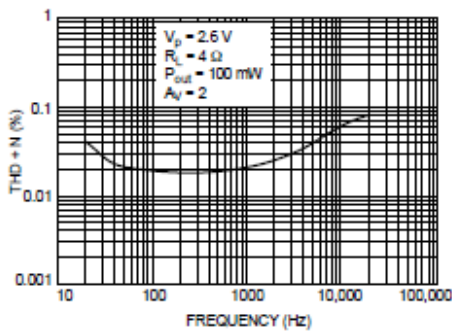


Figure 5. THD + N versus Frequency

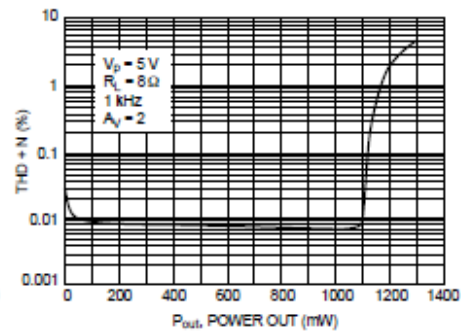


Figure 6. THD + N versus Power Out

NCP2890

Typical Performance Characteristics

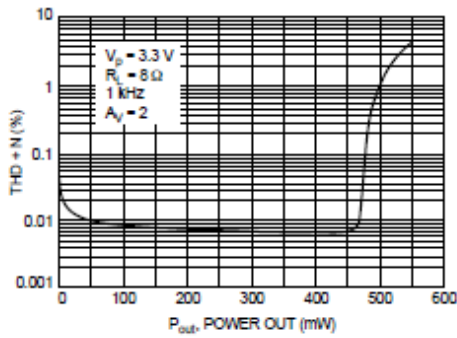


Figure 7. THD + N versus Power Out

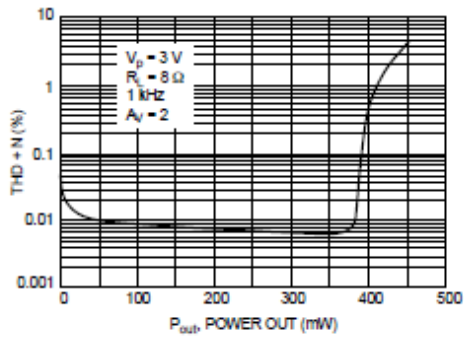


Figure 8. THD + N versus Power Out

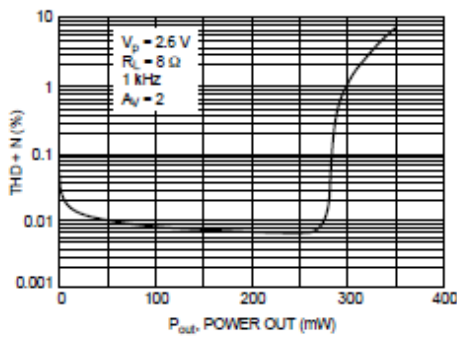


Figure 9. THD + N versus Power Out

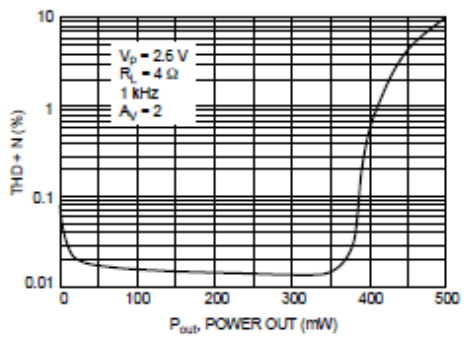


Figure 10. THD + N versus Power Out

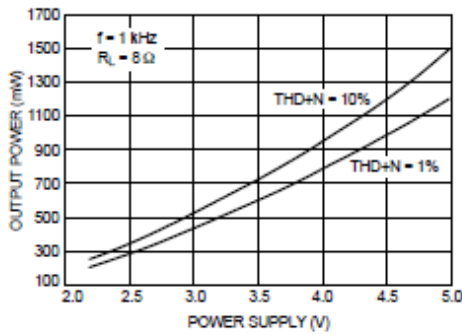


Figure 11. Output Power versus Power Supply

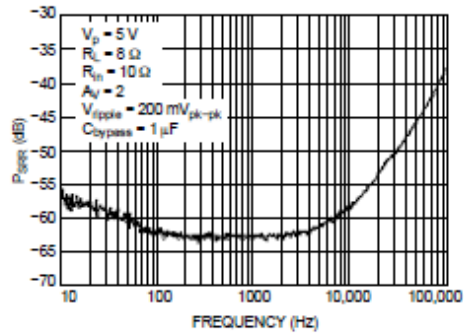


Figure 12. P_{3RR} @ $V_p = 5$ V

NCP2890

Typical Performance Characteristics

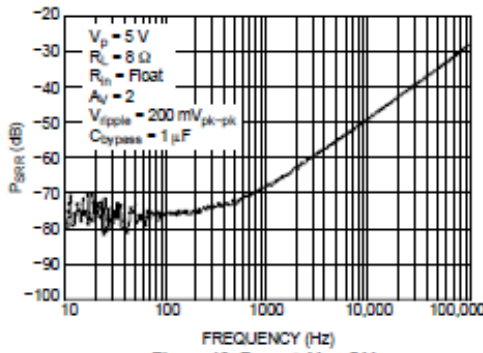


Figure 13. P_{SRR} @ $V_p = 5$ V

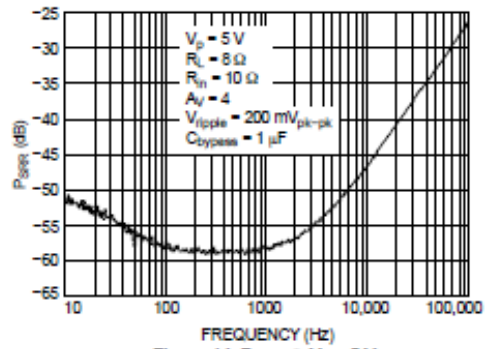


Figure 14. P_{SRR} @ $V_p = 5$ V

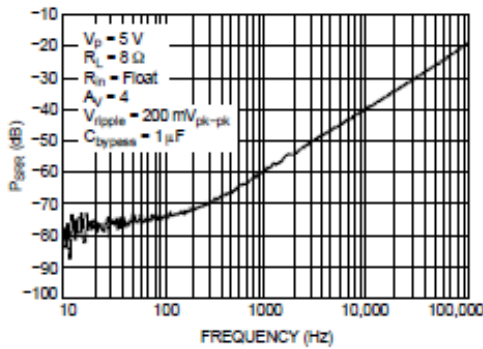


Figure 15. P_{SRR} @ $V_p = 5$ V

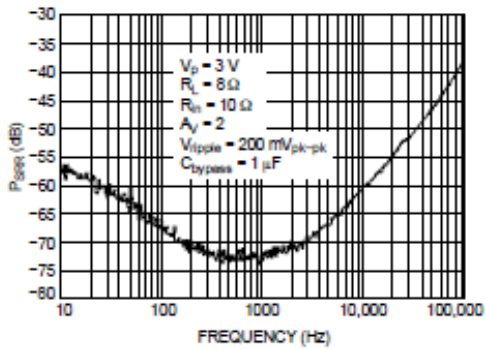


Figure 16. P_{SRR} @ $V_p = 3$ V

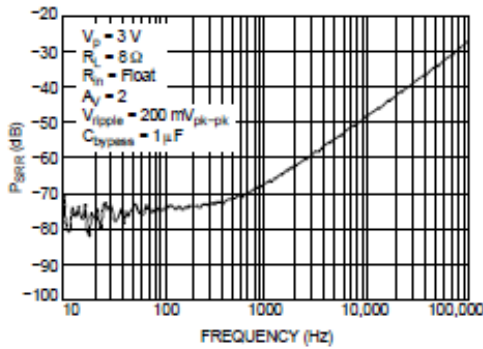


Figure 17. P_{SRR} @ $V_p = 3$ V

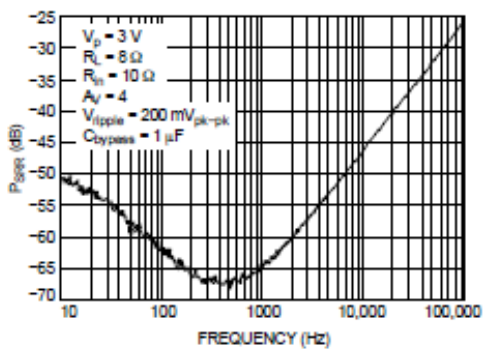


Figure 18. P_{SRR} @ $V_p = 3$ V

Typical Performance Characteristics

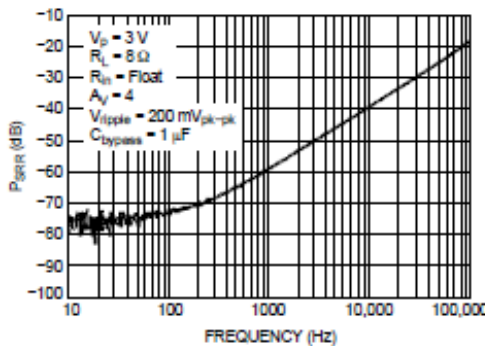


Figure 19. P_{SRR} @ $V_p = 3$ V

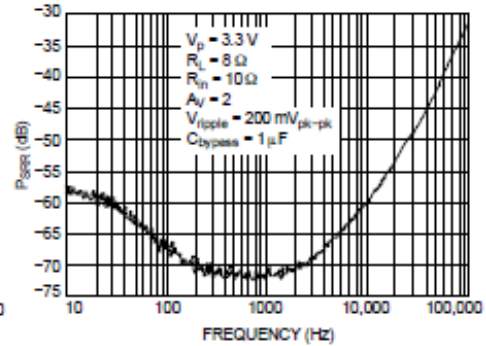


Figure 20. P_{SRR} @ $V_p = 3.3$ V

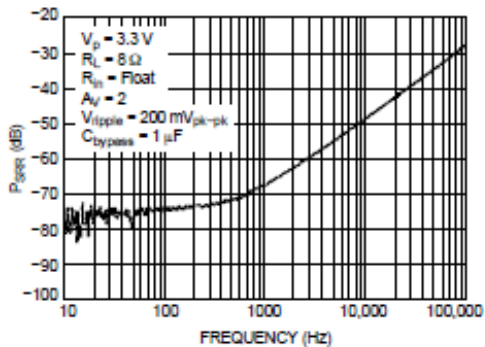


Figure 21. P_{SRR} @ $V_p = 3.3$ V

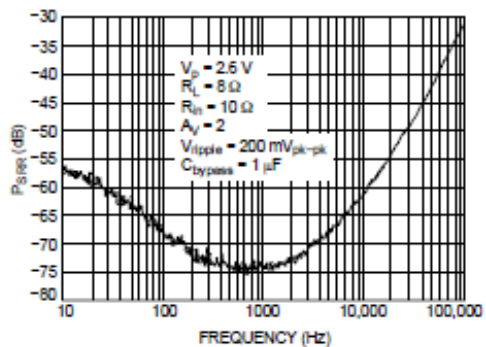


Figure 22. P_{SRR} @ $V_p = 2.6$ V

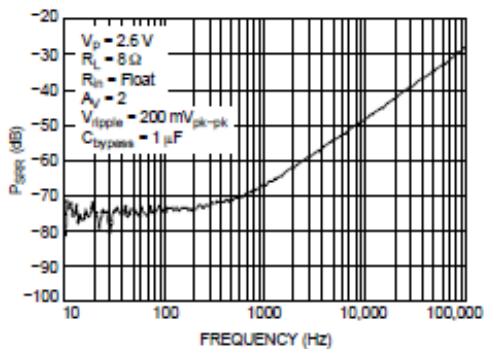


Figure 23. P_{SRR} @ $V_p = 2.6$ V

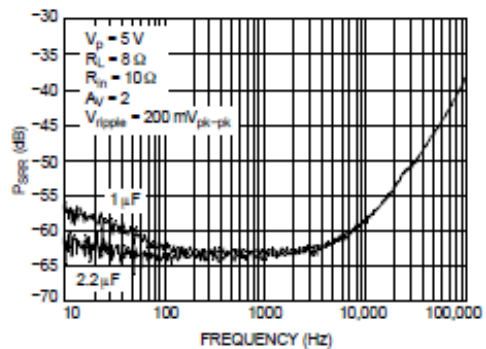


Figure 24. P_{SRR} versus C_{bypass} @ $V_p = 5$ V

Typical Performance Characteristics

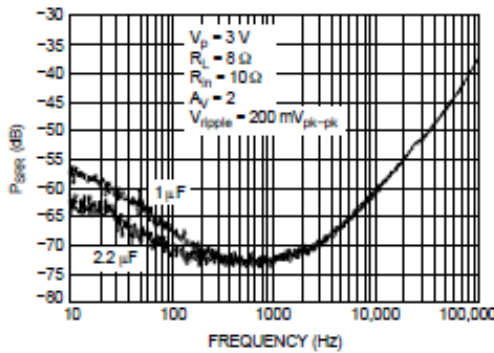


Figure 25. P_{SRR} versus C_{bypass} @ $V_p = 3$ V

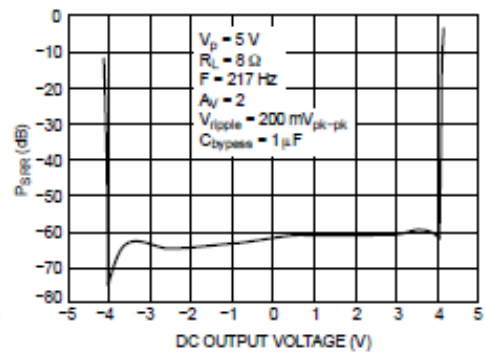


Figure 26. P_{SRR} @ DC Output Voltage

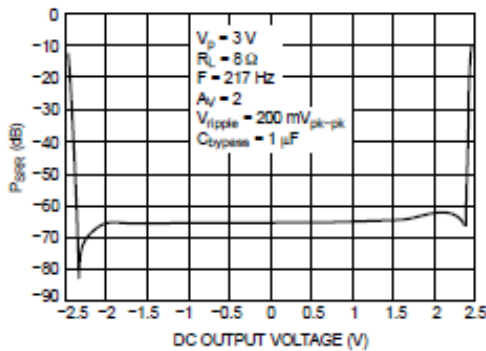


Figure 27. P_{SRR} @ DC Output Voltage

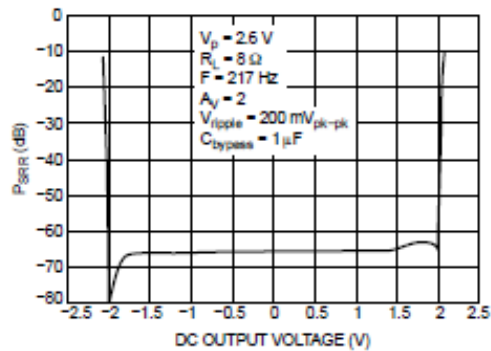


Figure 28. P_{SRR} @ DC Output Voltage

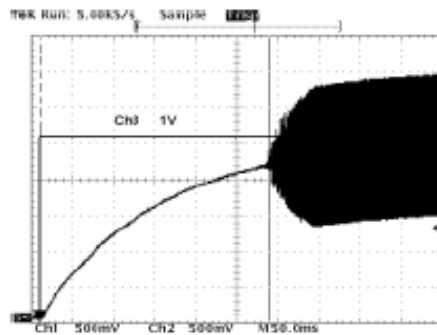


Figure 29. Turning On Time - $V_p = 5$ V

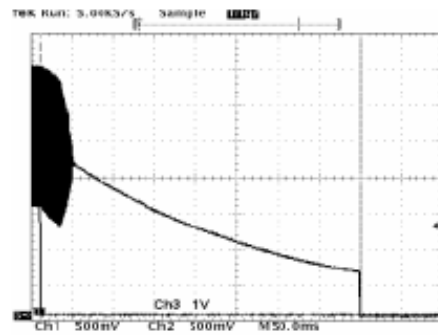


Figure 30. Turning Off Time - $V_p = 5$ V

NCP2890

Typical Performance Characteristics

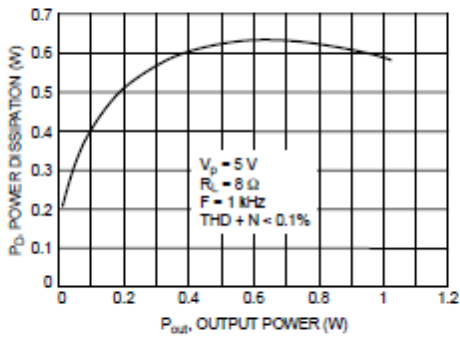


Figure 31. Power Dissipation versus Output Power

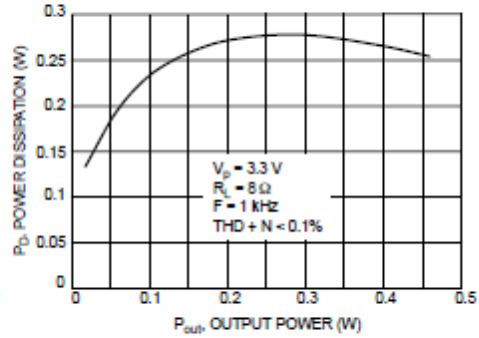


Figure 32. Power Dissipation versus Output Power

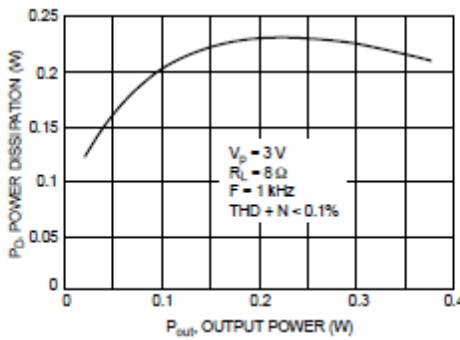


Figure 33. Power Dissipation versus Output Power

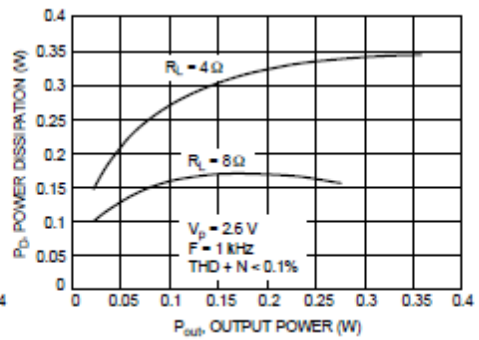


Figure 34. Power Dissipation versus Output Power

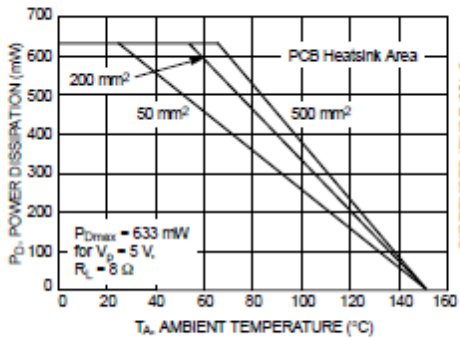


Figure 35. Power Derating - 9-Pin Flip-Chip CSP

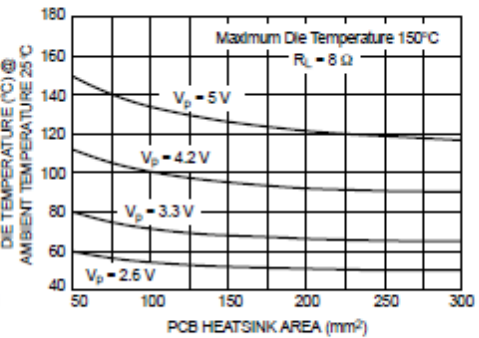


Figure 36. Maximum Die Temperature versus PCB Heatsink Area

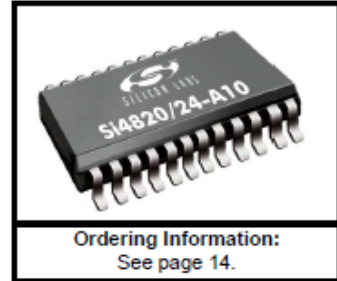


Si4820/24-A10

BROADCAST MECHANICAL TUNING AM/FM/SW RADIO RECEIVER

Features

- Worldwide FM band support (84–109 MHz)
 - Worldwide AM band support (504–1750 kHz)
 - SW band support (Si4824 only) (5.6–22 MHz)
 - No manual alignment necessary
 - Mono audio output
 - Selectable support AM/FM/SW regional bands
 - Automatic frequency control (AFC)
 - Integrated LDO regulator
 - 2.0 to 3.6 V supply voltage
 - Wide range of ferrite loop sticks and air loop antennas supported
 - 24-pin SSOP
 - RoHS-compliant
 - Direct volume control
 - Not EN55020 compliant*
- *Note: For consumer applications that require EN 55020 compliance, use Si4831/35-B.



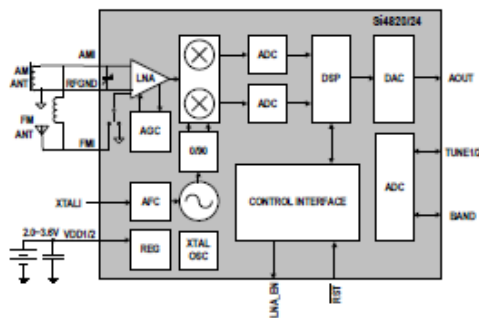
Applications

- Table and portable radios
- Mini/micro systems
- CD/DVD players
- Boom boxes
- Modules
- Clock radios
- Mini HiFi
- Entertainment systems

Description

The Si4820/24-A10 is the entry level mechanical-tuned digital CMOS AM/FM/SW radio receiver IC that integrates the complete receiver function from antenna input to audio output. The Si4820/24-A10 extends Silicon Laboratories multi-band tuner family, and further increases the ease and attractiveness of design radio reception to audio devices through small size and board area, minimum component count, and superior, proven performance. The Si4820/24-A10 is drop-in replaceable to the existing Si4831/35 tuner, requires a simple application circuit, and removes any requirements for manually tuning components during the manufacturing process. It is a very simple product to design, manufacture, and support across multiple product lines. The receiver has very low power consumption, runs off two AAA batteries, and delivers the performance benefits of digital tuning to the analog radio market.

Functional Block Diagram



Pin Assignments

Si4820/24-A10 (SSOP)

LNA_EN	1	24	AOUT
NC	2	23	NC
TUNE1	3	22	DBYP
TUNE2	4	21	VDD2
BAND	5	20	VDD1
NC	6	19	XTALI
NC	7	18	XTALO
FMI	8	17	VOL-
RFGND	9	16	VOL+
NC	10	15	RST
NC	11	14	GND
AMI	12	13	GND

This product, its features, and/or its architecture is covered by one or more of the following patents, pending and issued, both foreign and domestic: 7,127,217; 7,272,373; 7,272,375; 7,321,324; 7,355,478; 7,426,378; 7,471,940; 7,339,503; 7,339,504.

Si4820/24-A10

Table 4. FM Receiver Characteristics^{1,2}

($V_{DD} = 2.7$ to 3.6 V, $T_A = 0$ to 70 °C)

Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
Input Frequency	f_{RF}		64	—	109	MHz
Sensitivity with Headphone Network ³		(S+N)/N = 26 dB	—	4.0	—	μ V EMF
LNA Input Resistance ^{4,5}			—	4	—	k Ω
LNA Input Capacitance ^{4,5}			—	5	—	pF
AM Suppression ^{4,5,6,7}		m = 0.3	—	50	—	dB
Input IP ₃ ^{4,8}			—	105	—	dB μ V EMF
Adjacent Channel Selectivity ⁴		\pm 200 kHz	—	45	—	dB
Alternate Channel Selectivity ⁴		\pm 400 kHz	—	60	—	dB
Audio Output Voltage ^{5,6,7}			—	72	—	mV _{RMS}
Audio Mono S/N ^{5,6,7,9,10}			—	45	—	dB
Audio Frequency Response Low		-3 dB	—	—	30	Hz
Audio Frequency Response High		-3 dB	15	—	—	kHz
Audio THD ^{6,5,11}			—	0.1	0.5	%
Audio Output Load Resistance ^{4,10}	R_L	Single-ended	10	—	—	k Ω
Audio Output Load Capacitance ^{4,10}	C_L	Single-ended	—	—	50	pF
Powerup/Band Switch Time ⁴			—	—	110	ms
Notes:						
<ol style="list-style-type: none"> 1. Additional testing information is available in "AN569: Si4831/35/20/24-DEMO Board Test Procedure." Volume = maximum for all tests. Tested at RF = 98.1 MHz. 2. To ensure proper operation and receiver performance, follow the guidelines in "AN555: Si483x-B/Si4820/24 Antenna, Schematic, Layout, and Design Guidelines." Silicon Laboratories will evaluate schematics and layouts for qualified customers. 3. Frequency is 64~109 MHz. 4. Guaranteed by characterization. 5. $V_{EMF} = 1$ mV. 6. $F_{MOD} = 1$ kHz, MONO, and L = R unless noted otherwise. 7. $\Delta f = 22.5$ kHz. 8. $f_2 - f_1 > 2$ MHz, $f_0 = 2 \times f_1 - f_2$. 9. $B_{AF} = 300$ Hz to 15 kHz, A-weighted. 10. At A_{OUT} pin. 11. $\Delta f = 75$ kHz. 						

Table 5. AM/SW Receiver Characteristics^{1,2}
 ($V_{DD} = 2.7$ to 3.6 V, $T_A = 0$ to 70 °C)

Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
Input Frequency	f_{RF}	Medium Wave (AM)	504	—	1750	kHz
		Short Wave (SW)	5.60	—	22.0	MHz
Sensitivity ^{3,4,5}		(S+N)/N = 26 dB	—	30	—	μ V EMF
Large Signal Voltage Handling ⁵		THD < 8%	—	300	—	mV _{RMS}
Power Supply Rejection Ratio ⁵		$\Delta V_{DD} = 100$ mV _{RMS} , 100 Hz	—	40	—	dB
Audio Output Voltage ^{3,6}			—	54	—	mV _{RMS}
Audio S/N ^{3,4,6}			—	45	—	dB
Audio THD ^{3,6}			—	0.1	—	%
Antenna Inductance ^{5,7}			180	—	450	μ H
Powerup/Band Switch Time ⁵		From powerdown	—	—	110	ms
Notes: <ol style="list-style-type: none"> Additional testing information is available in "AN569: Si4831/35/20/24-DEMO Board Test Procedure." Volume = maximum for all tests. Tested at RF = 520 kHz. To ensure proper operation and receiver performance, follow the guidelines in "AN555: Si483x-B/Si4820/24 Antenna, Schematic, Layout, and Design Guidelines." Silicon Laboratories will evaluate schematics and layouts for qualified customers. FMOD = 1 kHz, 30% modulation, 2 kHz channel filter. $B_{AF} = 300$ Hz to 15 kHz, A-weighted. Guaranteed by characterization. $V_{IN} = 5$ mVrms. Stray capacitance on antenna and board must be < 10 pF to achieve full tuning range at higher inductance levels. 						

Table 6. Reference Clock and Crystal Characteristics
 ($V_{DD} = 2.7$ to 3.6 V, $T_A = 0$ to 70 °C)

Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
Reference Clock						
XTALI Supported Reference Clock Frequencies			—	32.768	—	kHz
Reference Clock Frequency Tolerance for XTALI			-100	—	100	ppm
Crystal Oscillator						
Crystal Oscillator Frequency			—	32.768	—	kHz
Crystal Frequency Tolerance			-100	—	100	ppm
Board Capacitance			—	—	3.5	pF

Si4820/24-A10

Table 7. Thermal Conditions

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Thermal Resistance*	θ_{JA}	—	80	—	°C/W
Ambient Temperature	T_A	0	25	70	°C
Junction Temperature	T_J	—	—	77	°C

*Note: Thermal resistance assumes a multi-layer PCB with the exposed pad soldered to a topside PCB pad.

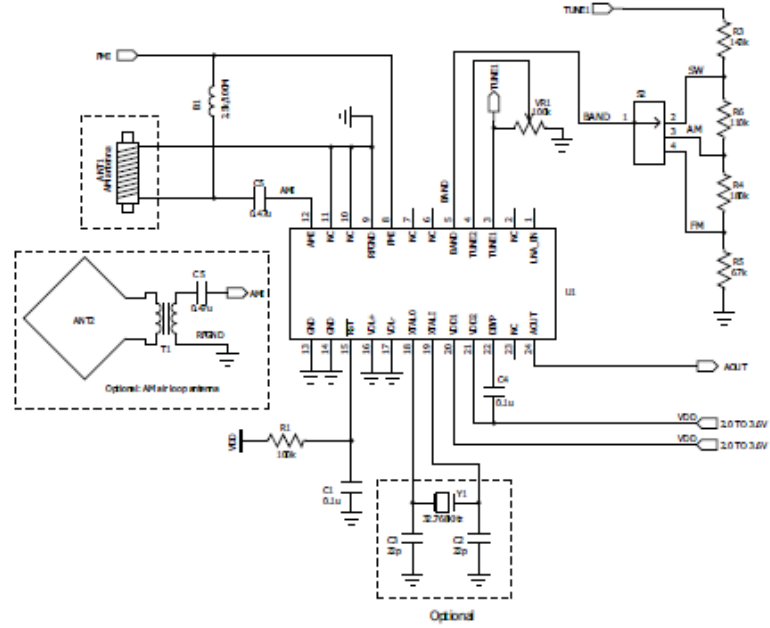
Table 8. Absolute Maximum Ratings^{1,2}

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V_{DD}	-0.5 to 5.8	V
Input Current ³	I_{IN}	10	mA
Operating Temperature	T_{OP}	-40 to 95	°C
Storage Temperature	T_{STG}	-55 to 150	°C
RF Input Level ⁴		0.4	V_{PK}

Notes:

1. Permanent device damage may occur if the above Absolute Maximum Ratings are exceeded. Functional operation should be restricted to the conditions as specified in the operational sections of this data sheet. Exposure beyond recommended operating conditions for extended periods may affect device reliability.
2. The Si4820/24-A10 devices are high-performance RF integrated circuits with certain pins having an ESD rating of < 2 kV HBM. Handling and assembly of these devices should only be done at ESD-protected workstations.
3. For input pins \overline{RST} , VOL+, VOL-, XTALO, XTALI, BAND, TUNE2, TUNE1, LNA_EN.
4. At RF input pins, FMI and AMI.

2. Typical Application Schematic



4. Functional Description

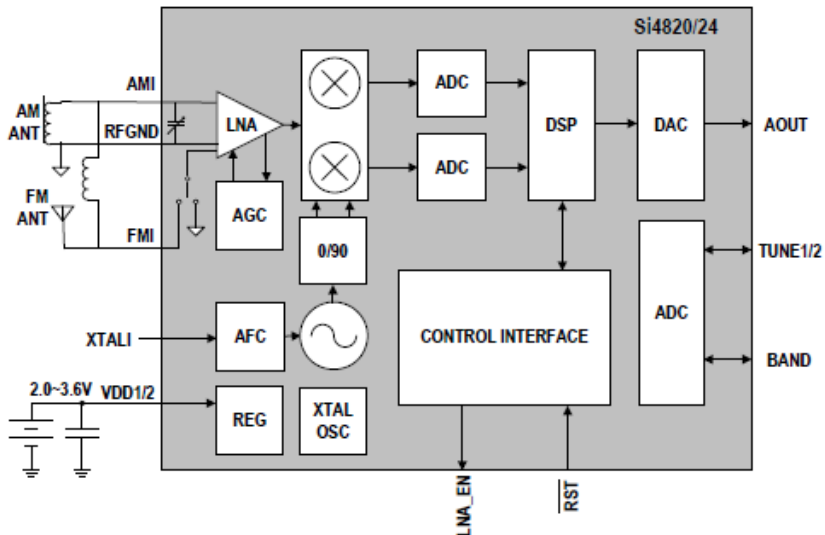
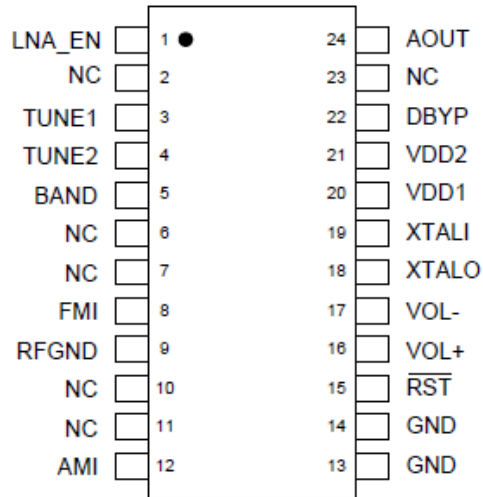


Figure 2. Si4820/24-A10 Functional Block Diagram

5. Pin Descriptions: Si4820/24-A10



Pin Number(s)	Name	Description
1	LNA_EN	Enable SW external LNA for Si4824
2	NC	No connect
3	TUNE1	Frequency tuning
4	TUNE2	Frequency tuning
5	BAND	Band selection and de-emphasis selection
6,7	NC	No connect. Leave floating.
8	FMI	FM RF inputs. FMI should be connected to the antenna trace.
9	RFGND	RF ground. Connect to ground plane on PCB.
10,11	NC	Unused. Tie these pins to GND.
12	AMI	AM RF input. AMI should be connected to the AM antenna.
13,14	GND	Ground. Connect to ground plane on PCB.
15	RST	Device reset (active low) input
16	VOL+	Volume button up
17	VOL-	Volume button down
18	XTALO	Crystal oscillator output
19	XTALI	Crystal oscillator input
20	VDD1	Supply voltage. May be connected directly to battery.
21	VDD2	Supply voltage. May be connected directly to battery.
22	DBYP	Dedicated bypass for VDD
23	NC	No connect. Leave floating
24	AOUT	Audio output



Si4820/24-A10

6. Ordering Guide

Part Number ^{1,2}	Description	Package Type	Operating Temperature/Voltage
Si4820-A10-CU	AM/FM Broadcast Radio Receiver	24L SSOP Pb-free	0 to 70 °C 2.0 to 3.6 V
Si4824-A10-CU	AM/FM/SW Broadcast Radio Receiver	24L SSOP Pb-free	0 to 70 °C 2.0 to 3.6 V

Notes:

1. Add an "(R)" at the end of the device part number to denote tape and reel option. The devices will typically operate at 25 °C with degraded specifications for V_{DD} voltage ramped down to 2.0 V.
2. The -C suffix in the part number indicates Consumer Grade product. Please visit www.silabs.com to get more information on product grade specifications.

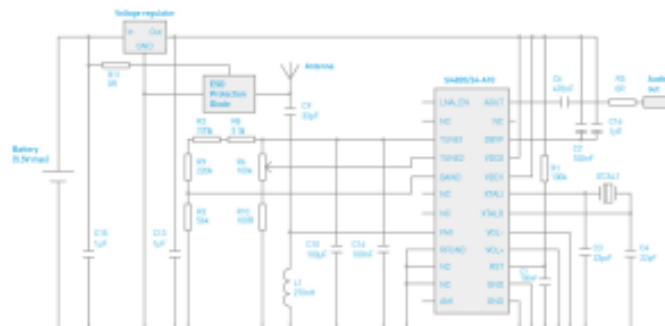
FM Radio Essentials

www.kitronik.co.uk/2157



How the FM Radio Kit Works

To aid the description of the circuit we have split it into two parts. The first deals with the decoding of the FM radio signal and the second deals with the audio amplification.



Radio decoding

For the radio circuit to work it needs a stable power supply. To provide the stable power supply a voltage regulator is used. This provides a 3.3V output for the circuit to run from. Capacitors C15 and C13 help the regulator to output a steady voltage by removing noise from its input and output.

The key component of the radio circuit is the Si4820/24-A10 chip. This chip is used to receive radio signals via an "antenna" and then decodes this signal to recover the audio signal it carries. To recover the radio signal the chip needs to generate a timing signal to match the radio signal to. This is achieved using the timing crystal XTAL1 and the two capacitors C3 and C4.

The resistor network composed of R2, R3, R4, R8, R9 and R10 controls the range or "band" of frequencies that the IC is able to tune into. Different countries use different bands for FM radio and these values have been chosen for best performance in the UK and Europe. R4 is a potentiometer which can be turned to swap from station to station.

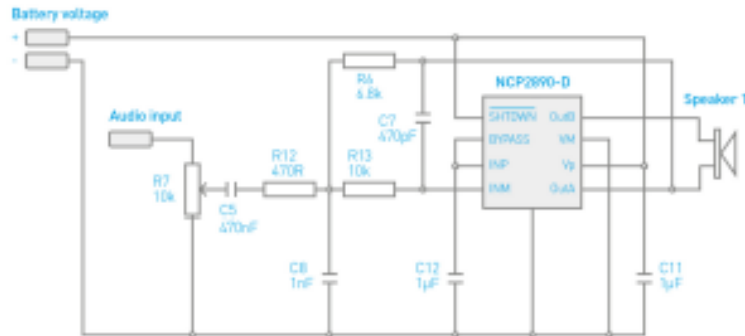
L1 and C9 help to filter out unwanted signals received by the antenna. C10 and C14 help to keep the tuning signal to the IC steady to prevent fluctuations in power from causing the IC to lose the station it has been tuned to.

The ESD protection diode protects the IC in the event of a static shock being delivered to the antenna. Static shocks are harmless to people but can damage the silicon inside the IC. The ESD protection diode redirects any such shock harmlessly to the ground rail.

C1 controls the reset timing of the IC which in this case only applies when switching on the device as this pin is held low by R1. C5 takes any DC bias out of the output signal from the radio IC and R5 and R11 just acts as a wire links to "jump" over tracks on the PCB.



Audio amplification

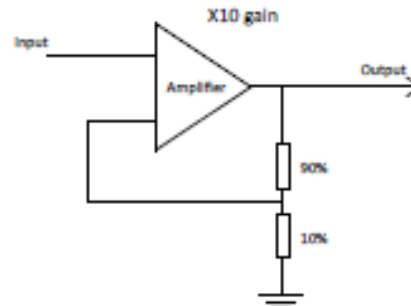


The audio amplification is performed by another Integrated Circuit or IC called an NCP2890-D. Inside the NCP2890-D are lots of transistors, which are connected together to allow the small input signal to be amplified into a more powerful output that can drive a speaker.

All amplifiers need to use feedback to ensure the amount of gain stays the same. This allows the output to be an exact copy of the input just bigger. The gain is the number of times bigger the output is compared to the input, so if an amplifier has a gain of 10 and there is 1 volt on the input there will be 10 volts on the output. Before looking at how the feedback works, we first need to understand how a standard amplifier works. An operational amplifier has two inputs, these are called the inverting (-) and non-inverting (+) inputs. The output of the operational amplifier is the voltage on the non-inverting input less the voltage on the inverting input multiplied by the amplifiers gain. In theory an operational amplifier has unlimited gain so if the non-inverting input is a fraction higher than the inverting input (there is more + than -) the output will go up to the supply voltage. Change the inputs around and the output will go to zero volts. In this format the operational amplifier is acting as a comparator, it compares the two inputs and changes the output accordingly.

With an infinite gain the amplifier is no good to amplify audio, which is where the feedback comes in. By making one of the input a percentage of the output the gain can be fixed, which allows the output to be a copy of the input but bigger. Now when the two inputs are compared and the output is adjusted, instead of it going up or down until it reaches 0 volts or V_p , it stops at the point when the two inputs match and the output is at the required voltage.

Looking at the circuit diagram for the audio amplifier you can see R5 connecting the pin 'OutA' back into the input pin 'INM'. This is the feedback for the amplifier.



Specifications

Kenwood KDC-3024A

Specifications subject to change without notice.

FM tuner section

Frequency range (50 kHz space)	87.5 MHz – 108.0 MHz
Usable sensitivity (S/N = 26dB)	0.7 μ V/75 Ω
Quieting Sensitivity (S/N = 46dB)	1.6 μ V/75 Ω
Frequency response (\pm 3 dB)	30 Hz – 15 kHz
Signal to Noise ratio (MONO)	65 dB
Selectivity (DIN) (\pm 400 kHz)	\geq 80 dB
Stereo separation (1 kHz)	35 dB

MW tuner section

Frequency range (9 kHz space)	531 kHz – 1611 kHz
Usable sensitivity (S/N = 20dB)	25 μ V

LW tuner section

Frequency range	153 kHz – 281 kHz
Usable sensitivity (S/N = 20dB)	45 μ V

CD player section

Laser diode	GaAlAs (λ =780 nm)
Digital filter (D/A)	8 Times Over Sampling
D/A Converter	1 Bit
Spindle speed	500 – 200 rpm (CLV)
Wow & Flutter	Below Measurable Limit
Frequency response	10 Hz – 20 kHz
Total harmonic distortion (1 kHz)	0.01 %
Signal to Noise ratio (1 kHz)	96 dB
Dynamic range	93 dB
Channel separation	85 dB

Audio section

Maximum output power	50 W x 4
Output power (DIN 45324, +B=14.4V)	30 W x 4
Tone action	
Bass :	100 Hz \pm 10 dB
Middle :	1 kHz \pm 10 dB
Treble :	10 kHz \pm 10 dB
Preout level / Load (during disc play)	2000 mV/10 k Ω
Preout impedance (during disc play)	\leq 600 Ω

General

Operating voltage (11 – 16V allowable)	14.4 V
Current consumption	10 A
Installation Size (W x H x D)	182 x 53 x 157 mm
	7-3/16 x 2-1/16 x 6-3/16 inch
Weight	3.1 lbs (1.4 kg)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Βιβλία

Βλάχος, Ι., Γραμματικάκης, Ι., Καραπαναγιώτης, Β., Κόκκοτας, Π., Περιστερόπουλος, Π., & Τιμοθέου, Γ. (2010). Φυσική Γ' Λυκείου (Φυσική 12^{ης} τάξης). *Αθήνα: ΟΕΔΒ. ISBN 978-960-06-2340-6.*

Θεοφάνους, Ν., Κανελλόπουλος, Χ., Πακτίτης, Σ. (2009). Αναλογικά Ηλεκτρονικά Γ' ΕΠΑΛ (Α' Μέρος Θεωρία). *Αθήνα: ΟΕΔΒ. ISBN 978-960-06-3138-8.*

Θεοφάνους, Ν., Κανελλόπουλος, Χ., Πακτίτης, Σ. (2009). Αναλογικά Ηλεκτρονικά Γ' ΕΠΑΛ (Β' Μέρος Εργαστήριο). *Αθήνα: ΟΕΔΒ. ISBN 978-960-06-3133-3.*

Μπρακατσούλας, Ε., Παπαϊωάννου, Γ., Παπαδάκης, Ι. (2013). Γενικά Ηλεκτρονικά Β' ΕΠΑΛ (Α' Μέρος Θεωρία). *Αθήνα: ΟΕΔΒ. ISBN 978-960-06-3133-3.*

Μπρακατσούλας, Ε., Παπαϊωάννου, Γ., Παπαδάκης, Ι. (2013). Γενικά Ηλεκτρονικά Β' ΕΠΑΛ (Β' Μέρος Εργαστήριο). *Αθήνα: ΟΕΔΒ. ISBN 978-960-06-3133-3.*

Κανελλόπουλος, Χ., Παληός, Γ., Χατζαράκης, Γ. (2012). Κυκλώματα Συνεχούς και Εναλλασσομένου Ρεύματος Β' ΕΠΑΛ (Α' Μέρος Θεωρία). *Αθήνα: ΟΕΔΒ. ISBN 978-960-06-2857-9.*

Κανελλόπουλος, Χ., Παληός, Γ., Χατζαράκης, Γ. (2012). Κυκλώματα Συνεχούς και Εναλλασσομένου Ρεύματος Β' και Γ' ΕΠΑΛ (Β' Μέρος Εργαστήριο). *Αθήνα: ΟΕΔΒ. ISBN 978-960-06-2857-9.*

Ματάκιας, Σ., Τσιγκόπουλος, Α., Αμδίτης, Α. (2010). Επικοινωνίες και Δίκτυα Β' και Γ' ΕΠΑΛ. *Αθήνα: ΟΕΔΒ. ISBN 978-960-06-3056-5.*

Χριστίδης, Π. (2014). Τεχνολογία Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών Γ' Τάξης. *Υπουργείο Παιδείας και Πολιτισμού Κύπρου.*

Διαδίκτυο

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%B1%CE%B4%CE%B9%CF%8C%CF%86%CF%89%CE%BD%CE%BF>

<https://docplayer.gr/47591770-Radiofono-tehnologia-v-lykeioy-doyrvas-ioannis.html>

http://www.pspa.eu/images/files/ergasies_mathiton/technologia/agymn/2013-14/%CE%92%CE%B1%CF%86%CE%B5%CE%B9%CE%AC%CE%B4%CE%B7_radio.pdf

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%8E%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CE%B1%CF%82_%CE%9C%CE%BF%CF%81%CF%82

<https://www.radiofono.gr/history.htm>

<https://www.psithiri.gr/magazine/article/67/>

https://www.irantousis.gr/01_TEXNOLOGIA_A! TAKSIS/04_grapti_ergasia_a/14_radiofono.pdf

<https://www.radiofono.gr/node/45066>

<https://el.wikipedia.org/wiki/Podcasting>

<https://www.thessalonikiartsandculture.gr/thessaloniki/palia-thessaloniki/istoria-radiofonou-protos-radiofonikos-stathmos-stin-ellada-1i-deth-1926/>

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CF%86%CE%AC%CF%83%CE%BC%CE%B1

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CF%80%CE%AD%CF%81%CF%85%CE%B8%CF%81%CE%B7_%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B1

http://edume.myds.me/00_0070_e_library/10030/02_Electronics_Books/006/Index.html

http://edume.myds.me/00_0070_e_library/10030/02_Electronics_Books/024/Index.html

http://edume.myds.me/00_0070_e_library/10030/02_Electronics_Books/009/Index.html

Οι σύνδεσμοι ελέγχθηκαν 01/09/2020