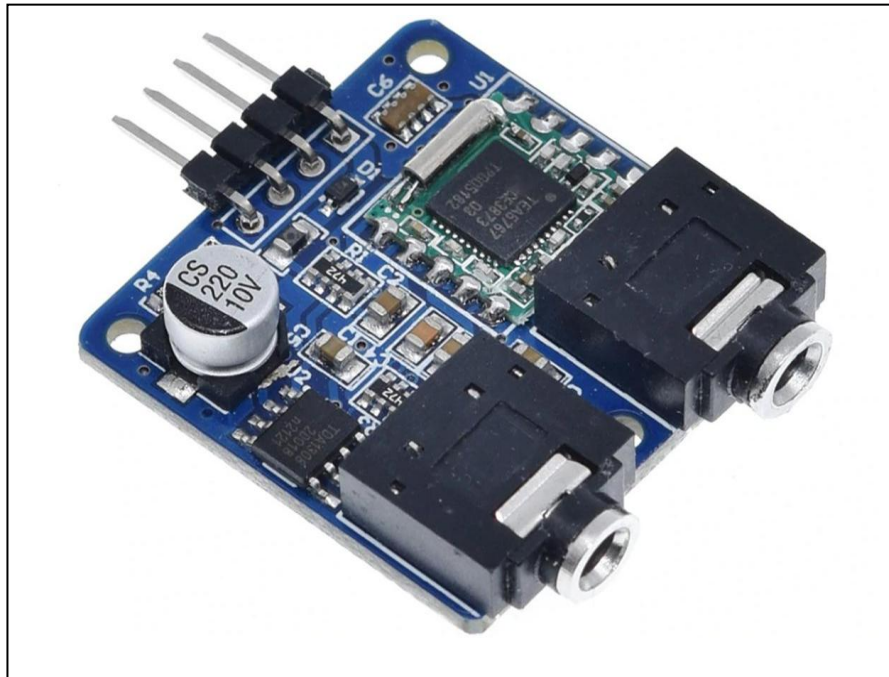




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Μελέτη & Κατασκευή Ραδιοφωνικού Δέκτη βασισμένου σε
Μικροελεγκτή**

Διπλωματική Εργασία



Φοιτητής: Μπάλλας Τισιάνο
ΑΜ: 06732

Επιβλέπων/ουσα Καθηγητής/τρια

Τσακίριδης Οδυσσέας

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, (ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ) (2021)



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS
ENGINEERING

**Design & Construction of a Radio Receiver based on a
Microcontroller**
Diploma Thesis



Student: BALLAS TISIANO
Registration Number: 06732

Supervisor

TSAKIRIDIS ODYSSEAS

ATHENS-EGALEO, (OCTOBER) (2021)

Τσακίριδης Οδυσσεύς, Επίκουρος Καθηγητής	Φωτόπουλος Παναγιώτης, Αναπληρωτής Καθηγητής	Γαλατά Σωτηρία, Επίκουρη Καθηγήτρια

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Μπάλλας Τισιάνο

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος Μπάλλας Τισιάνο του με αριθμό μητρώου 06732 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος/ουσας καθηγητή/ήτριας.»

Ο/Δηλών/

Μπάλλας Τισιάνο



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου όλους αυτούς που με στήριξαν σε όλη αυτή την διάρκεια των σπουδών μου, καθώς η διπλωματική εργασία είναι και το τέλος των σπουδών μου στο τμήμα ηλεκτρονικών και ηλεκτρολόγων μηχανικών του πανεπιστημίου δυτικής Αττικής .

Ευχαριστώ κατά κύριο λόγο τους γονείς μου και τους φίλους που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια σε όλους τους τομείς κατά την διάρκεια των σπουδών μου, ώστε να μην τα παρατήσω ποτέ . Θα ήθελα με την σειρά μου να ευχαριστώ τους επιστήμονες καθηγητές του ιδρύματος για όλη την γνώση και την εμπειρία που μου δίδαξαν όλη αυτή την χρονική περίοδο ώστε να εξελιχτώ τόσο στο αντικείμενο των σπουδών μου και την επαγγελματική μου πορεία αργότερα , καθώς και στο κοινωνικό κομμάτι . Ιδιαίτερος θα ήθελα να ευχαριστώ τον Δρ. καθηγητή Τσακιρίδη Οδυσσέα ο οποίος ήταν ο επιβλέπων της παρούσας εργασίας για όλη την βοήθεια και την στήριξη που μου προσέφερε πάνω στην Παρούσα εργασία αλλά και σε άλλα αντικείμενα κατά την διάρκεια των σπουδών μου, ελπίζω να μην είναι το τέλος αυτή η εργασία και να κρατήσουμε επαφή για οποιοδήποτε πρόβλημα η συμβουλή χρειαστώ στο μέλλον .

Περίληψη

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η κατασκευή ενός ραδιοφωνικού δέκτη FM μέσω της χρήσης ενός μικροελεγκτή arduino . Για να πραγματοποιηθεί το πειραματικό μέρος έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε τόσο υλισμικό για την κατασκευή του κυκλώματος του δεκτή καθώς και λογισμικό για τον έλεγχο του δεκτή.

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία η θεωρητική τεκμηρίωση αφορά τον ρόλο της διαμόρφωσης καθώς και τα είδη διαμορφώσεων, με μεγαλύτερη εστίαση στην διαμόρφωση συχνότητας, την οποία χρησιμοποιούμε στην FM ραδιοφωνία

Επιπλέον εστιάζουμε και στην διαδικασία της αποδιαμόρφωσης FM που χρησιμοποιεί ο δέκτης στην λήψη του σήματος και το πώς αυτή μας εξυπηρετεί, ώστε να έχουμε την βέλτιστη ακουστική αναπαραγωγή στην έξοδο του συστήματος μας . Στην παρούσα διπλωματική εργασία εισαγάγετε η έννοια του μικροελεγκτή, ο τρόπος λειτουργίας του, δίνοντας μεγάλη βαρύτητα στους μικροελεγκτές της οικογένειας AVR. Αναλύεται η αρχιτεκτονική του ATMEGA328P που χρησιμοποιούμε στην δικιά μας περίπτωση. Κάνοντας χρήση της πλατφόρμας ARDUINO αναλύουμε τα κύρια χαρακτηριστικά της και επικεντρωνόμαστε στην έκδοση ARDUINO NANO οπού είναι και ο τύπος που θα χρησιμοποιηθεί στον FM δεκτή.

Στην συγκεκριμένη κατασκευή που είναι συνδυασμός υλισμικού και λογισμικού θα πρέπει πρώτα να συνδεθούν όλες οι μονάδες μεταξύ τους δηλαδή το Arduino nano ο δέκτης TEA5767HN και η οθόνη πληροφοριών και μετά η κατασκευή του κώδικα που είναι και η πιο απαιτητική εργασία..

Λέξεις – κλειδιά

Σήμα , Διαμόρφωση , αποδιαμόρφωση , δέκτης FM , Λήψη, I2C, μικροελεγκτής , avr , arduino, IDE, tea5767hn ,κώδικας , PLL , ολοκληρωμένο κύκλωμα .

Abstract

The aim of this thesis is the study and construction of an FM radio receiver, through the use of an arduino microcontroller. In order to carry out the experimental part we had to use both hardware for the construction of the receiver circuit as well as software for the control of the receiver.

In the present dissertation the theoretical documentation concerns the role of the modulation as well as the types of modulations, with a greater focus on the frequency modulation, which we use in FM radio.

In addition, we focus on the process of FM demodulation that the receiver uses in receiving the signal and how it serves us, so that we have the best audio reproduction at the output of our system. In this dissertation you introduce the concept of microcontroller, its mode of operation, giving great importance to the microcontrollers of the AVR family. The architecture of ATMEGA328P that we use in our case is analyzed. Using the ARDUINO platform, we analyze its main features and focus on the ARDUINO NANO version, which is the type that will be used in the FM receiver. In this particular construction, which is a combination of hardware and software, all the units must first be connected to each other, i.e. the Arduino nano, the TEA5767HN receiver and the information screen, and then the construction of the code, which is the most demanding task.

Keywords

Signal, Modulation , demodulation, FM receiver, reception, I2C, microcontroller, avr, arduino, IDE, tea5767hn, code, PLL, integrated circuit.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	8
Καταλογος Πινακων	11
Καταλογος Εικόνων	11
Ακρονύμια	12
Εισαγωγή	Error! Bookmark not defined.
1.1 Προσδιορισμός Προβλήματος	Error! Bookmark not defined.
1.2 Στόχος Διπλωματικής εργασίας	Error! Bookmark not defined.
1.3 Περιγραφή Μεθοδολογίας	13
1.4 Συνοπτική Παρουσίαση Κεφαλαίων	14
ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΣΗΜΑΤΩΝ FM	15
2.1 Εκπομπή του σήματος στην FM διαμόρφωση	15
2.2 Πομπός	16
2.3 Δέκτης – λήψη	17
2.4 Θόρυβος	18
2.5 AM και FM Διαμόρφωση και οι διαφορές τους	19
2.6 Ψηφιακό σύστημα μετάδοσης	20
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ-ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ	21
3.1 Γενικά για την διαμόρφωση	21
3.2 Είδη διαμορφώσεων	23
3.2.1 Αναλογικές διαμορφώσεις	23
• 3.2.1.1 Διαμόρφωση πλάτους.....	23
• 3.2.1.2 Διαμορφώσεις γωνίας.....	25
3.2.2 Παλμικές διαμορφώσεις.....	28
• 3.2.2.1 Αναλογικές διαμορφώσεις παλμών	28
• 3.2.2.2 Παλμικές διαμορφώσεις που εμπεριέχουν ημιτονικό φέρον	29
3.2.3 Ψηφιακές διαμορφώσεις	30
3.3 Διαμόρφωση συχνότητας FM	32
3.4 Δεικτής διαμόρφωσης – εύρος φασματικής ζώνης Error! Bookmark not defined.	
3.5 Αποδιαμόρφωση του σήματος	Error! Bookmark not defined.
3.5.1 Αποδιαμόρφωση πλάτους η φάραση αναπτύγματος	37
3.5.2 Αποδιαμορφώσεις ορίσματος.....	Error! Bookmark not defined.
3.5.3 Διευκρίνιση συχνότητας.....	40
3.5.4 Άλλες διαμορφώσεις που χρησιμοποιούνται στην FM ραδιοφωνία	Error! Bookmark not defined.
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΙΣΜΙΚΟΥ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	45
4.1 Μικροελεγκτής	45
4.1.1 Εισαγωγή στους μικροελεγκτές	45
4.1.2 Δομή μικροελεγκτή.....	46
4.2 AVR μικροελεγκτές – αρχιτεκτονικές επεξεργαστών	48
4.2.1 Harvard αρχιτεκτονική	48
4.2.2 RISK και CISC αρχιτεκτονική.....	49
4.2.3 AVR μικροελεγκτής.....	49
4.2.4 Είδη μικροελεγκτών.....	50

4.3	<u>Μικροελεγκτής ATmega328P</u>	52
4.3.1	<u>Εισαγωγή</u>	52
4.3.2	<u>Ακροδέκτες του Atmega328p</u>	Error! Bookmark not defined.
4.3.3	<u>Χαρακτηριστικά Atmega328p</u>	54
4.4	<u>Αρχιτεκτονική του ATmega328P</u>	55
4.5	<u>Arduino</u>	Error! Bookmark not defined.
4.5.1	<u>Εισαγωγή στο arduino</u>	57
4.5.2	<u>Πλεονεκτήματα Arduino</u>	58
4.5.3	<u>Είδη arduino</u>	58
4.5.4	<u>Arduino Nano</u>	61
4.6	<u>Περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IDE</u>	Error! Bookmark not defined.3
4.6.1	<u>Εισαγωγή Περιβάλλον ανάπτυξης Arduino</u>	63
4.6.2	<u>Δομή του περιβάλλοντος ανάπτυξης</u>	64
4.6.3	<u>Βασικές εντολές και Συναρτήσεις του προγράμματος</u>	65
4.6.4	<u>DIGITAL-ANALOG PINS</u>	68
4.7	<u>Ολοκληρωμένο κύκλωμα TEA5767HN</u>	69
4.7.1	<u>Μπλοκ διάγραμμα</u>	71
4.7.2	<u>Εφαρμογή FM stereo</u>	72
4.7.3	<u>TEA5767hn</u>	73
	• <u>4.7.3.1 Ενισχυτής χαμηλού θορύβου</u>	73
	• <u>4.7.3.2 Μίκτης</u>	74
	• <u>4.7.3.3 Επιλεκτικότητα ενδιάμεσης συχνότητας(IF selectivity)</u>	74
	• <u>4.7.3.4 Αποδιαμορφωτής</u>	74
	• <u>4.7.3.5 MPX αποκωδικοποιητής</u>	75
	• <u>4.7.3.6 Ευαισθησία σίγασης</u>	76
4.8	<u>Σύστημα συντονισμού του tea5767</u>	77
4.8.1	<u>PLL</u>	77
4.8.2	<u>IF Μετρητής</u>	80
4.8.3	<u>Επίπεδο ADC</u>	81
4.8.4	<u>Αλγόριθμος συντονισμού</u>	82
4.9	<u>Επικοινωνία TEA5767HN</u>	85
4.10	<u>I2C ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ</u>	86
<u>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ</u>		88
5.1	<u>Υλικά</u>	88
5.2	<u>Υλοποίηση κυκλώματος</u>	89
5.2.1	<u>Υλοποίηση απλού κυκλώματος</u>	90
5.2.2	<u>Υλοποίηση συνθέτου κυκλώματος βήματα</u>	91
5.3	<u>Κώδικας</u>	92
<u>Συμπεράσματα – Μελλοντικές Εργασίες</u>		97
6.1	<u>Συμπεράσματα</u>	97
6.2	<u>Μελλοντικές Εργασίες</u>	97
<u>Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές</u>		99
<u>Παράρτημα Α' (Κώδικες)</u>		101
<u>Παράρτημα Β μικροελεγκτές</u>		108
<u>Παράρτημα Γ TEA5767& LCD</u>		111

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1 Bessel	35
Πίνακας 4.1 Μικροελεγκτές AVR	50
Πίνακας 4.2 Πίνακας ακροδεκτών Atmega328p.....	54
Πίνακας 4.3 καταχωρητή κατάσταση.....	57
Πίνακας 4.4 Πίνακας δυαδικής αρίθμησης	78
Πίνακας 4.5 IF μετρητής	80
Πίνακας 4.6 Πίνακας αλγορίθμου συντονισμού	84

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1 - Πομπός.....	16
Εικόνα 2.2 – Δέκτης	18
Εικόνα 2.3 – Διαφορές AM-FM.....	20
Εικόνα 3.1 – Διαμορφωμένο σήμα σχήμα	21
Εικόνα 3.2 – Διαμορφωμένο σήμα κυματομορφή	22
Εικόνα 3.3 – Παλμογραφική και φασματική εικόνα ενός σήματος.....	23
Εικόνα 3.4 – διαμόρφωση AM.....	24
Εικόνα 3.5 – Κυματομορφές πληροφοριακού σήματος, φέροντος και διαμορφωμένου FM και PM	26
Εικόνα 3.6 – Παλμικές διαμορφώσεις που εμπεριέχουν ημιτονικό φέρον	29
Εικόνα 3.7 –Είδη διαμορφώσεων.....	Error! Bookmark not defined.
Εικόνα 3.8 - φασματική ζώνη	34
Εικόνα 3.9 – Αποδιαμόρφωση πλατους	Error! Bookmark not defined.
Εικόνα 3.10 – Φωρατής.....	Error! Bookmark not defined.
Εικόνα 3.11 -Αποδιαμόρφωση ορίσματος	39
Εικόνα 3.12 – Περιοριστής	40
Εικόνα 3.13 – Διάταξη απλού διεκρινιστή.....	41
Εικόνα 3.14 – Κυματομορφή απλού διεκρινιστή.....	42
Εικόνα 3.15 – Διεκρινιστής foster selley	43
Εικόνα 3.16 –PLL	44
Εικόνα 4.1 –Τύποι μικροελεγκτή	46
Εικόνα 4.2 - Δομή μικροελεγκτή	47
Εικόνα 4.3 – αρχιτεκτονική Von-Neumann -αρχιτεκτονική Harvard.....	48
Εικόνα 4.4 – μικροελεγκτής Atmega328 p	51
Εικόνα 4.5 – μπλοκ διάγραμμα του μικροελεγκτή Atmega328p.....	52
Εικόνα 4.6 – Ακροδέκτες του Atmega328p	53
Εικόνα 4.7 – Αρχιτεκτονική μικροελεγκτή Atmega328p	55
Εικόνα 4.8 – Καταχωρητές γενικής χρήσης.....	56
Εικόνα 4.9 – Logo arduino	57
Εικόνα 4.10 – Είδη Αρντουίνο	58
Εικόνα 4.11 – Arduino Nano.....	61
Εικόνα 4.12 – ακροδέκτες arduino nano	62
Εικόνα 4.13 – Περιβάλλον ανάπτυξης Arduino)	63
Εικόνα 4.14 - Γραμμή εργαλείων Arduino Ide	64

Εικόνα 4.15 – chip TEA5767	70
Εικόνα 4.16 - Μπλοκ διαγραμμα TEA5767	71
Εικόνα 4.17 – Βασικό διάγραμμα δεκτή	72
Εικόνα 4.18 - Διάγραμμα ροής σήματος	73
Εικόνα 4.19 –Ο μίκτης	73
Εικόνα 4.20 – Η Επίδραση του SNC ως προς σήμα και τον θόρυβο	75
Εικόνα 4.21 – Η επιρροή του HCC στο ακουστικό σήμα	76
Εικόνα 4.22 – Η επίδραση της σίγασης στο σήμα και τον θόρυβο στην έξοδο του ήχου	76
Εικόνα 4.23 - Συστήμα συντονισμού (32768Hz) -σύστημα συντονισμού (13MHz)..	77
Εικόνα 4.24 – Υψηλή λειτουργία έγχυσης -χαμηλή λειτουργία έγχυσης	79
Εικόνα 4.25 - IF μετρητής	80
Εικόνα 4.26 –Τυπική μέτρηση ADC	81
Εικόνα 4.27 - επίπεδο ADC ως συνάρτηση επιπέδου εισόδου RF με vcc=2.7 volt ...	82
Εικόνα 4.28 – επίδραση των υψηλών / χαμηλών πλευρικών σε ισχυρά σήματα	82
Εικόνα 4.29 – Παραδειγμα αλγορίθμου συντονισμού	83
Εικόνα 4.30 - Πρωτόκολλο επικοινωνίας i2c πρωτόκολλο επικοινωνίας (3 bus)	84
Εικόνα 4.31 –Κυματομορφές I2C	87
Εικόνα 5.1 – Οθόνη LCD	88
Εικόνα 5.2 - Ενισχυτής LM386	89
Εικόνα 5.3 – Το σχέδιο του κυκλώματος	90
Εικόνα 5.4 – Συνδεσμολογια απλού κυκλώματος Arduino	90
Εικόνα 5.5 – Συνδεσμολογία απλού κυκλώματος tea5767	91
Εικόνα 5.6 – Τελική συνδεσμολογία απλού κυκλώματος	91

Ακρωνύμια

FM: frequency modulation

PLL: Phase Locked Loop

AM :amplitude modulation

CPU :central processing unit

IDE: Integrated Development Environment

IC integrated circuit

I2C Inter-Integrated Circuit

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η κατασκευή ενός FM δεκτή βασισμένο σε μικροελεγκτή .

Ο δέκτης FM έχοντας υποστεί την διαμόρφωση και την αποδιαμόρφωση του σήματος θα πρέπει να εξάγει έναν καθαρό ήχο χωρίς παρεμβολές . Αυτό θα το επιτύχουμε με τις κατάλληλες εντολές κωδικα πάνω στο arduino ,ώστε αυτό με την σειρά του να επικοινωνεί με την κυριά πλακέτα του κυκλώματος μας ,τον TEA5767 καθώς και με την χρήση του LM386 οπού εκει θα καθαρίζει το σήμα. Για να μελετήσουμε ορθά την συγκεκριμένη κατασκευή θα πρέπει να υποστεί αλλοιώσεις τόσο ως προς το hardware οπού θα πρέπει να γίνει η σωστή συνδεσμολογία καθώς και να ρυθμίσουμε σωστά τα εξαρτήματα μας , καθώς και software για να έχουμε τις απαραίτητες εντολές κωδικα ώστε να λειτουργήσει το κύκλωμα σας σωστά .

1.2 Σκοπός και στόχος

Ο σκοπός της εργασίας εκτός από την κατασκευή του δεκτή είναι η μελέτη των διαμορφώσεων και ιδιαίτερα της διαμόρφωσης συχνότητας καθώς και η αποδιαμόρφωση, επίσης να μελετήσουμε το πώς εισέρχονται και εξέρχονται τα σήματα πάνω στον δεκτή .Και ετσι θα μάθουμε θεωρητικά τι είναι ένας δέκτης . Το ίδιο ισχυει και στην μελέτη των μικροελεγκτών και του Αρντουίνο ώστε να δούμε την δομή λειτουργίας του. Αφού έχουμε μάθει το θεωρητικό μέρος δηλαδη έχουμε αναλύσει την λειτουργία τους . Κύριος σκοπός είναι να φτιάξουμε έναν δεκτή βασισμένο σε μικροελεγκτή arduino nano ο οποίος θα πρέπει να βγάζει στην έξοδο του καθαρό τον ήχο ώστε να ακούγεται ευχάριστα στον ακροατή χωρίς καμία παρεμβολή . ο σταθμός ο οποίος θα επιλέγεται από τον ακροατή θα εμφανίζει και στην οθόνη ώστε να καταλαβαίνει ο ακροατής σε ποιο σταθμό συντονίστηκε .

1.3 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία χωρίζεται σε 2 βασικά μέρη το hardware δηλαδη την κατασκευή του κυκλώματος και στο software που θα χρησιμοποιήσει για να δεχθούν τις εντολές του κωδικα πάνω στο arduino ώστε να έχουμε την ομαλή σωστή λειτουργία του δεκτή μας . Πρώτα φτιάχτηκε το hardware με την κατάλληλη συνδεσμολογία έγινε η κατασκευή όλου του δεκτή μας ενώνοντας μέσω των επαφών (pins) τις 2 βασικές πλακέτες μεταξύ τους καθώς και την οθόνη οπού θα εμφανίζει τον ραδιοφωνικό σταθμό που θα εχει διαλέξει ο ακροατής , καθώς και τα αλλά εξαρτήματα που είναι απαιτητά για έχουμε ένα τελειοποιημένο σύστημα δεκτή ,μετα στην συνέχεια μεσώ του κατάλληλου λογισμικού τοποθετήσαμε τις εντολές του κωδικα και τις βιβλιοθήκες που χρειάζεται για να επικοινωνούν μεταξύ τους τα εξαρτήματα αλλά και να εμφανίζει τα αποτελέσμα την οθόνη .Στη συνέχεια έγιναν μετρήσεις πάνω στην πλακέτα για να δούμε αν το σήμα μας είναι αυτό που θέλουμε ,τόσο προς την ισχύ του όσο και το ποσό καθαρό είναι .

1.4 Δομή

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η αναφορά πάνω στην μετάδοση και στην λήψη σημάτων στην μπάντα των FM, εκεί βλέπουμε τι διαδικασία ακολουθεί το σήμα από τον πομπό για να ταξιδέψει προς τον δεκτή, αργότερα βλέπουμε η διαδικασία του σήματος από την αρχή που το λαμβάνει ο δέκτης μέχρι να την έξοδο του. Εκεί βλέπουμε επίσης και τις διάφορες που έχουν οι 2 βασικές διαμορφώσεις ραδιοφώνων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά πάνω στην διαμόρφωση και την αποδιαμόρφωση του σήματος. Αρχίζει εξηγώντας μας τι είναι η διαμόρφωση και μας δείχνει όλες τις κατηγορίες διαμορφώσεων, αυτή που μας ενδιαφέρει στην δική μας περίπτωση είναι η διαμόρφωση συχνότητας. Αργότερα μας εξηγεί αναλυτικά τον ρόλο της αποδιαμόρφωσης του σήματος που γίνεται στον δεκτή και τα είδη της, με βασική την αποδιαμόρφωση συχνότητας γνωστή και ως διευκρίνιση συχνότητας.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή του υλισμικού του συστήματος δίνοντας βαρύτητα στις 2 βασικές μας πλακέτες, το arduino nano και το ολοκληρωμένο tea5767hn. Σε αυτό το κεφάλαιο μελετάμε από την βάση τους, τους μικροελεγκτές και το πώς διανέμονται, ανάλογα του είδους τους και την αρχιτεκτονική τους καθώς αναλύουμε και πως λειτουργεί ο atmega328p οπότε είναι ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιεί το δικό μας arduino. Στην συνέχεια γίνεται μια αναφορά στο arduino γενικότερα, τα πλεονέκτημα τους καθώς τα βασικότερα είδη του, δίνοντας περισσότερη σημασία στο arduino nano οπότε αυτό χρησιμοποιούμε στην κατασκευή μας. Στη συνέχεια εξηγείται πως λειτουργεί το λογισμικό του arduino, arduino ide εξετάζοντας την δομή του και βασικές εντολές και συναρτήσεις που χρησιμοποιεί. Όπως μελετήσαμε το arduino έτσι μελετάμε τώρα και το κύκλωμα του δεκτή tea5767hn, εδώ εξηγούμε τι είναι αυτό το τσιπ, τι περιέχει μέσω του block διαγράμματος και στην συνέχεια γίνεται αναφορά στα 3 βασικά υποκυκλώματα – διαγράμματα που χρησιμοποιεί. Μας μαθαίνει επίσης και τον τρόπο επικοινωνίας του δεκτή, αναλύοντας και το πρωτόκολλο I2C.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στο πειραματικό μέρος της κατασκευής μας, από τα υλικά που χρησιμοποιούνται, την συνδεσμολογία τους, το hardware και στη συνέχεια εκτελείτε και το software κομμάτι δηλαδή ο κώδικας, προγραμματίζοντας μέσω της πλατφόρμας το τσιπ μας. Στη συνέχεια αναφέρονται τα πειραματικά αποτελέσματα που μας έδειξε η κατασκευή μας

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΣΗΜΑΤΩΝ FM

Για την διάδοση και την λήψη των Σημάτων FM χρησιμοποιούνται ένας πομπός και ένας δέκτης. Ένα φέρον θα περιέχει την πληροφορία του σήματος στο κύμα . Η πληροφορία αυτή μπορούμε να την κωδικοποιήσουμε απευθείας στο κύμα με 2 τρόπος α) μέσω περιοδικών διακοπών της μετάδοσής ή μέσω της διαμόρφωσης που χρησιμοποιούμε στις περισσότερες εφαρμογές σήμερα, θα δούμε για την διαμόρφωση πιο αναλυτικά. Η πληροφορία μας που θα είναι ένα ιδικά διαμορφωμένο σήμα θα περιέχεται στην καθεμιά από τις πλευρικές μπάντες συχνοτήτων που είναι οι συχνότητες που έχουν προστεθεί στο φέρον σήμα.

2.1 ΕΚΠΟΜΠΗ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ FM ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

Η Εκπομπή που χρησιμοποιείτε για ένα ραδιοφωνικό σήμα είναι η εκπομπή σήματος FM, το φάσμα που συχνοτήτων που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη διαμόρφωση είναι 87,5-108MHz . Για την λειτουργία ενός σταθμού FM χρειάζονται κάποια όργανα , για αναφέρουμε ονοματικά

1.Αποδιαμορφωτής FM ,2 αναλυτής φάσματος, 3 Ένας μετρητής ισχύος RF 4.μετρητής ισχύος για το πεδίο μας και αλλά αρκετά όπως φυσικά και βασικά ηλεκτρονικά όργανα όπως είναι ο παλμογράφος για να βλέπουμε τι μορφή θα έχει το σήμα μας και τι παρεμβολές θα έχει ως προς το θόρυβο , όπως φυσικά και ένα ηλεκτρονικό πολύμετρο .

Η τυπική ισχύς που πρέπει αν έχει το σήμα μας στην εκπομπή θα πρέπει να είναι από 10W μέχρι και 100Kw.

Το ραδιοφωνικό σήμα FM έχει στερεοφωνικό ήχο και έχει ακουστικό εύρος 30Hz έως 15kHz .

Το σήμα RF αποτελείται από τη φέρουσα συχνότητα διαμορφωμένη από το ηχητικό σήμα το οποίο μεταδίδεται με μέγιστη απόκλιση συχνότητας ίση με:50 kHz .

Στην FM ραδιοφωνία την σήμερα ημέρα χρησιμοποιείτε στερεοφωνική εκπομπή και συγκεκριμένο χρησιμοποιούν **μια DSB διαμόρφωση με καταπιεσμένο φέρον** , αυτή την διαμόρφωση την προτιμήσαν διότι θα πρέπει ο δέκτης να αναπαράγει 2 σήματα A B από το A+B χωρίς να χάνουν πληροφορία, αυτό γίνεται πολυπλέκοντας το κύριο φέρον με ένα υποφέρον το οποίο θα έχει συχνότητα στα 38 KHZ το οποίο θα έχει μέγιστο πλάτους στο 1%.

Ποιο αναλυτικά η διαδικασία είναι θα τοποθετηθεί ένα ακόμα φέρον στα 19hz στην κάτω πλευρική ζώνη του A-B σήματος που έχει ένα εύρος 23-38kHz και γίνεται η ανάκτηση του σήματος A-B .

Τώρα στους συγχρόνους ραδιοφωνικούς σταθμούς το σήμα υποβάλετε σε μια επεξεργασία πριν την μετάδοση του . Αρχικά θα πρέπει να ρυθμιστούν τα επίπεδα των σημάτων από το αριστερό (L) στο δεξιό κανάλι (R) αυτό θα γίνει με την βοήθεια ενός ενισχυτή , στη συνέχεια στο στερεοφωνικό κωδικοποιητή θα μετατραπούν τα σήματα από το (R) και το αριστερό (L) κανάλι στα $(L+R)/2$ και $(L-R)/2$. Στη συνέχεια Τα πολυπλέκει με ένα φέρον σήμα στα 19 kHz, το οποίο είναι ένα 8-10% πλάτος επίσης σε αρκετές περιπτώσεις μπορούν να πολυπλεχθούν στο τελικό σήμα και σήματα RDS και SCA . Το σήμα μας θα συγχρονιστεί κάποιες συχνότητες από μία σταθερή

πηγή αφού ο διαμορφωτής έχει τοποθετήσει το σήμα στην συχνότητα του φέροντος αυτά γίνονται για να διεγερθεί το σήμα στο πομπό , στο τέλος θα ενισχυθεί το ασθενές σήμα στην έξοδο του πομπού που θα τροφοδοτεί την κεραία του πομπού

Τα πλάτη που χρειάζονται ενδεικτικά για τις συνιστώσες του πολυπλεγμένου FM σήματος θα είναι για την περίπτωση

A) $(L+R)/2$ εδώ θα έχουμε μέγιστη τιμή γύρω στα 90% όταν τα σήματα μας στα κανάλια μας έχουν την ίδια φάση

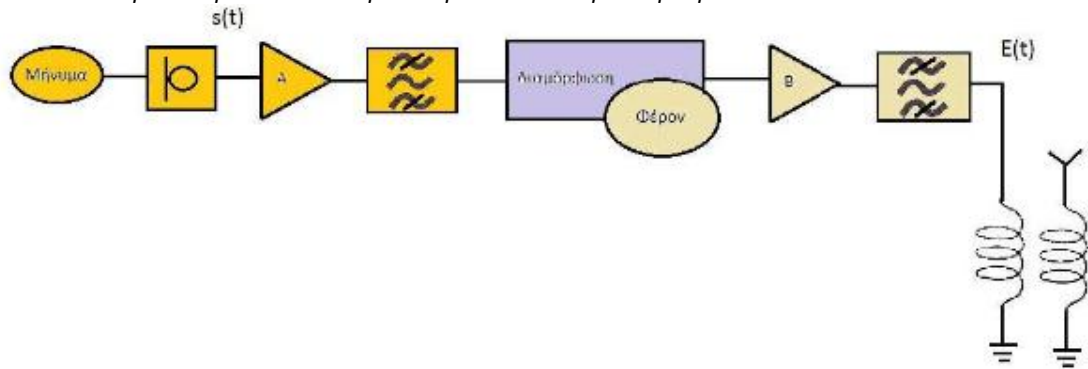
B) Σήμα $(L-R)/2$ στην αυτή την περίπτωση υπάρχει μέγιστη τιμή από το άθροισμα των δυο πλευρικών ζωνών με 90% όταν τα σήματα μας L ,R θα είναι ίσα αλλά δεν θα έχουν ίδιες φάσεις

Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί εκτός από το στερεοφωνικό μας σήμα να μεταδίδετε και ένα σήμα συμπληρωματικής πληροφορίας ,για να μην έχουμε πρόβλημα ως προς την μετάδοση μας θα πρέπει αυτά τα σήματα να μην επηρεάζουν την συμβατότητα στο σήμα βασικής ζώνης στους υπάρχοντες δέκτες, εκτός από την συμβατότητα δεν πρέπει να επηρεάζουν την ποιότητα της λήψης του κυρίως ακουστικού σήματος.

Το σχετικό πλάτος των σημάτων αυτόν πρέπει να είναι maximum 10% από την συνολική μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του σήματος βασικής ζώνης. Η συχνότητα τους πρέπει να είναι 15 έως 23kHz ή 53-76Khz και 3^{ov} η μέγιστη απόκλιση του κυρίως φέροντος δεν πρέπει να ξεπεράσει τα 75kHz από το συνολικό σήμα.

2.2 Πομπός

Ένα ραδιοφωνικό σήμα χρησιμοποιείται για την μετάδοση φωνής και του ήχου γενικότερα. Οι ήχοι μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα μέσω αισθητήρα (μικρόφωνο), εκεί περνάει ενίσχυση ώστε έτσι να διαμορφωθεί το φέρον του σήματος πολλές φορές χρησιμοποιούνται και φίλτρα ώστε να τίθενται τα όρια της φασματικής ζώνης του σήματος .Αργότερα περνάει το μέρος της διαμόρφωσης στην επεξεργασία του φέροντος το οποίο έχει παραχθεί από ένα κύκλωμα ταλαντωτή μέσα στον πομπό. Το διαμορφωμένο φέρον θα ενισχυθεί και αυτό και θα καταλήγει στο μέσο διάδοσης που σε αυτές τις περιπτώσεις είναι μια κεραία η οποία μετατρέπει τα ηλεκτρικά σήματα σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα για εκπομπή στο χώρο. Τα κύματα αυτά μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός με 2 τρόπους α)μέσω της οπτικής ευθείας και β) ανάκλασης . Τώρα σε περίπτωση που θέλουμε μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε PLL για να επέμβουμε στο προγραμματισμό της κεντρικής συχνότητας του φέροντος , αφού το διαμορφώσουμε μετα θα πρέπει να περάσει το στάδιο της ενίσχυσης με έναν ενισχυτή υψηλών συχνοτήτων . Μετα την διαμόρφωση θα προκύψει ένας διαφορετικό εύρος φασματικής ζώνης αυτό γίνεται λόγω ότι το φάσμα του σήματος έχει καταλάβει την κεντρική συχνότητα εκπομπής ,και θα πρέπει ο ενισχυτής εξόδου να ενισχύει με ομοιογένεια της φασματικές συνιστώσες του φέροντος . Ο λόγος που πριν το τελικό ενισχυτή ισχύος γίνεται μετάθεση της συχνότητας είναι ώστε να μην αλλοιωθεί το σήμα στην κεραία εκπομπής ως προ την συχνότητα.



Εικόνα 2.1 - Πομπός

2.3 Δέκτης – λήψη

Στην FM χρησιμοποιούμε ένα ιδικό δεκτή - κύκλωμα που ονομάζεται υπερετεροδύνος δέκτης που ο ρόλος του είναι μεταθετή την συχνότητα του φέροντος και η διαδικασία με την οποία ο δέκτης θα λάβει το σήμα χωρίς να αλλοιωθεί τη φυσιογνωμία του φέροντος είναι η ακόλουθη. Οι κεραίες λήψης λαμβάνουν μέρος της ακτινοβολίας που έχει παραχθεί από τον δεκτή και θα την ξαναμετατρέψει σε ηλεκτρικό σήμα. Στο κύκλωμα αυτό τα εισερχόμενα σήματα μαζί με ένα σήμα από τον τοπικό ταλαντωτή θα παράξουν ενδιάμεσες συχνότητες που είναι ονομάζονται IF οι οποίες είναι ίσες με το αριθμητικό άθροισμα και τη διαφορά της συχνότητας, Μία από τις συχνότητες αυτές εφαρμόζεται σε ένα ενισχυτή. Ο ενισχυτής IF λειτουργεί σε μία συχνότητα, την ενδιάμεση IF μπορεί να κατασκευαστεί για βέλτιστη επιλεκτικότητα και κέρδος. Το σήμα θα ενισχυθεί και θα τροφοδοτηθεί σε κυκλώματα που θα το αποδιαμορφώσουν, αυτό θα γίνει όταν τα εισερχόμενα σήματα είναι πάνω από το κατώφλι ευαισθησίας του δέκτη και αν ο δέκτης είναι συντονισμένος. Όπως μπορούμε να δούμε και στην παρακατω εικόνα ο δέκτης μπορούμε να πούμε ότι χωρίζεται σε 3 μέρη.

1°) Το **φίλτρο εισόδου και ο ενισχυτής RF** έχουν ζώνη διέλευσης για ολόκληρη την επιθυμητή περιοχή στην δικιά μας περίπτωση είναι περίπου από 88 έως 108 MHz οπότε τα 20 MHz είναι το φάσμα που καλύπτει ο δέκτης, έτσι το φίλτρο μας από φίλτρο εισόδου του δεκτή θα γίνει από φίλτρο επιλογής διαύλου σε φίλτρου επιλογής όλης της ζώνης συχνότητας

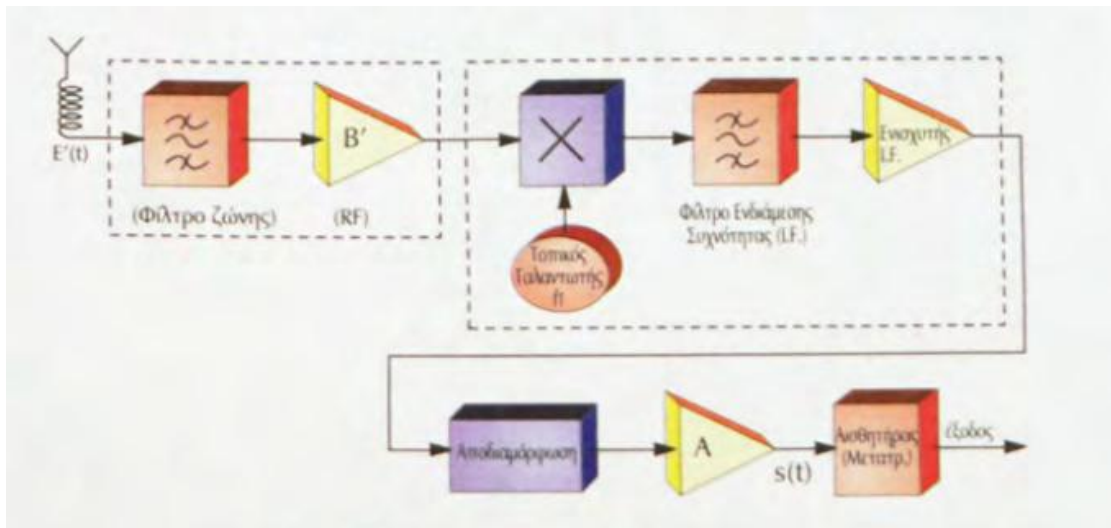
2°) Το δεύτερο αποτελείται από το **Μικτή** που πολλαπλασιάζει το σήμα εισόδου με το σήμα του τοπικού ταλαντωτή, εκεί υφίσταται μετάθεση συχνότητας. Στη συνέχεια οδηγείται στο **φίλτρο ενδιάμεσης συχνότητας I.F**, το οποίο έχει εύρος ζώνης λειτουργίας ίδιο με το εύρος ζώνης του σήματος βασικής ζώνης. Από το φίλτρο θα διέλθει μόνο το φέρον το οποίο θα ταυτίζετε με την κεντρική συχνότητα του φίλτρου. Εδώ να πούμε ότι το εύρος ζώνης λειτουργίας του φίλτρου θα προσδιορίσει την επιλεκτικότητα του δεκτή και αργότερα η ενδιάμεση συχνότητα που ονομάζεται IF θα υποστεί **ενίσχυση**.

3°) Αφού έχουν πραγματοποιηθεί όλα αυτά το σήμα μας περνάει την διαδικασία της αποδιαμόρφωσης που εκεί γίνεται η διαδικασία εξαγωγής της πληροφορίας από το φέρον, ποιο αναλυτικά θα μιλήσουμε παρακατω για την αποδιαμόρφωση. Στην αποδιαμόρφωση προκύπτει το σήμα βασικής ζώνης το οποίο θα υποστεί **ενίσχυση** το οποίο θα περάσει μέσω ενός

αισθητήρα που θα αναγνωρίσει το ηλεκτρακουστικό σήμα και θα το αναπαράγει στην έξοδο μας πχ ένα ηχείο .

Επιπλέον σε πολλούς δέκτες μπορούμε να βάλουμε και προσθετά στοιχεία – στάδια ένα από αυτά είναι το **στάδιο ενδιάμεσης συχνότητας με PLL** εκεί θα έχουμε πολλά πλεονεκτήματα .Αύξηση επιλεκτικότητας και δεν χρειάζεται να χρησιμοποιούμε τα επίλεκτά φίλτρα εισοδου .Η επιλογή ενδιάμεσης συχνότητας εξαρτάτε από 2 πράγματα 1) Το επιθυμητό εύρος λειτουργίας του δεκτή και 2) την απαιτούμενη χωρητικότητα .

Ένα άλλο βασικό επιπλέον στάδιο που αρκετοί χρησιμοποιούμε είναι και η διάταξη αυτομάτου ελέγχου του κέρδους γνωστό και ως AGC αυτή η διαδικασία γίνεται 1)Για να προφυλάσσει τον δεκτή από κορεσμούς και φαινόμενα παρεμβολών 2)Για να μην εξαρτάται η ισχύς στην έξοδο του ωφέλιμου σήματος από τις διακυμάνσεις του στην είσοδο του δεκτή .



Εικόνα 2.2 – Δέκτης

2.4 Θόρυβος

Σε ένα σύστημα FM ο τυχαίος θόρυβος δεν θα έχει ομοιόμορφη κατανομή αλλά θα εμφανίζεται περισσότερο στις υψηλές συχνότητες .

Για να διορθωθεί αυτός και να το αντισταθμίσουμε ώστε να μειωθεί ο θόρυβος στις υψηλές συχνότητες θα πρέπει να κάνουμε μερικές αλλαγές , αρχικά μπορούμε ενισχύοντας τις υψηλές συχνότητες πριν τη μετάδοση και ταυτόχρονα τα τις μειώνουμε στο δέκτη .

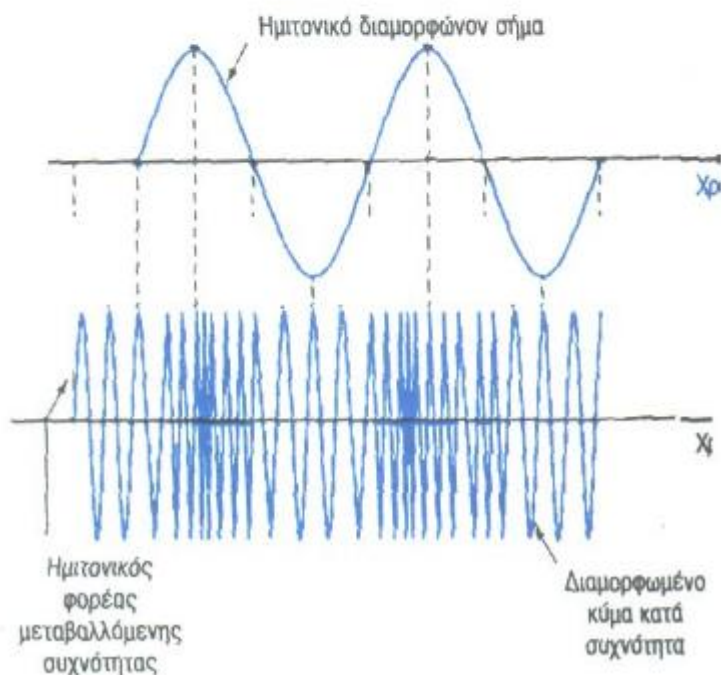
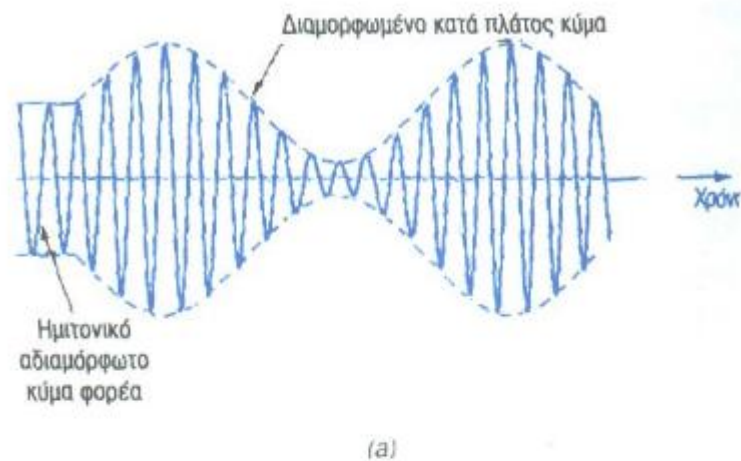
Οι διαδικασίες αυτές ονομάζονται έμφαση και προ-έμφαση οπού είναι η διαδικασία που ενισχύονται συγκεκριμένες συχνότητες και προ-έμφασης που είναι αντίστοιχα η εξασθένηση των συγκεκριμένων συχνοτήτων.

Οι 2 παραπάνω διαδικασίες καθορίζονται από την σταθερά χρόνου ενός RC.

2.5 ΑΜ και FM Διαμόρφωση και οι διαφορές τους

Στην αναλογική ραδιοφωνία υπάρχουν 2 είδους διαμορφώσεων, η διαμόρφωση πλάτους γνωστή και ως ΑΜ που είναι η παλαιότερη διαμόρφωση εκπομπής σήματος, και η διαμόρφωση συχνότητας FM που είναι η διαμόρφωση που χρησιμοποιούμε οι περισσότεροι από εμάς σήμερα στην ραδιοφωνία. Τα πλεονέκτημα της FM είναι αρκετά σε σχέση με την ΑΜ είναι πολλά περισσότερα από τα μειονεκτήματα της αρχικά ότι η ΑΜ χρησιμοποιεί διαμόρφωση πλάτους για τη μετάδοση του ήχου, η μέθοδος αυτή αλλάζει την ένταση του σήματος για να μεταδώσει. Ένας δέκτης ΑΜ στη συνέχεια ανιχνεύει τις μεταβολές πλάτους στα ραδιοκύματα σε μια συγκεκριμένη συχνότητα, και ενισχύει τις αλλαγές στην τάση του σήματος για να οδηγήσει το οδηγό στην έξοδο. Ωστόσο σε αρκετές περιπτώσεις το σήμα δεν φτάνει στον ακροατή-δέκτη διότι δεν είναι αρκετά ισχυρό με αποτέλεσμα να ακούει μόνο στατική και σε πολλές περιπτώσεις πρέπει να αυξήσουμε την ενέργεια του αρά έχουμε σπατάλη ενέργειας αυτό γίνεται λόγω ότι οι πλευρικές ζώνες συχνοτήτων χρησιμοποιούν μόλις το ένα έκτο της συνολικής ισχύος του ΑΜ, ενώ αντίθετα στην FM το πλάτος παραμένει σταθερό και αλλάζουμε την συχνότητα σε αυτή την περίπτωση το μειονέκτημα του είναι ότι έχει μεγάλο εύρος ζώνης του διαμορφωμένου φέροντος από ότι στην ΑΜ αλλά ακόμα και σε αυτήν την περίπτωση επειδή ακριβώς η FM έχει μεγαλύτερο εύρος αυτό τις δίνεις τεράστιο πλεονέκτημα ως προς τον θόρυβο, αποδεικνύεται ότι για τις συνήθεις τιμές του FM στην ραδιοφωνία αυτό το πλεονέκτημα μπορεί να φτάσει έως και ο λόγος 'σήμα/θόρυβο' στην FM είναι 64 φορές σε σύγκριση με το λόγο 'σήμα/θόρυβο' στην ΑΜ που αυτό αν το μετατρέψουμε σε db μέσω της πράξης $10\log(64)=18\text{dB}$. Γι' αυτό η FM διαμόρφωση και εκπομπή προσφέρεται για να απολαύσουμε μουσική πολύ πιο καλής ποιότητας από ό,τι στην ΑΜ. Ένα άλλο πλεονέκτημα της FM είναι η καλύτερη απόδοση μετάδοσης του πομπού στην ΑΜ για να διατηρηθεί η πληροφορία πρέπει να χρησιμοποιήσουμε και γραμμικούς ενισχυτές κάτι που στην FM δεν το έχουμε ανάγκη διότι έχουμε σταθερό το πλάτος.

Κύριο πλεονέκτημα της FM είναι ότι τα σήματα παρεμβολής της ίδιας συχνότητας σχεδόν εξαλείφονται λόγω των περιορισμών που έχουν. Στην ΑΜ όταν έχουμε για παραδειγμα 2 σήματα από ραδιοσταθμούς που βρίσκονται πάνω στην ίδια συχνότητα θα ακούγονται και τα 2 είτε είναι ισχυρότερο το ένα από τα 2 σήματα είτε ίδια και στις 2 περιπτώσεις θα ακούγονται 2 σταθμοί. Αν οι ισχύς των σημάτων είναι περίπου ίδιες και αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να μην ακούγεται κανένα από τα 2. Στην FM μετάδοση όμως τίποτα από αυτά δεν συμβαίνει καθώς υπάρχει το φαινόμενο της σύλληψης, που δημιουργείται όταν ένα σήμα είναι πάνω από το διπλάσιο του πλάτους του άλλου, τότε το σήμα θα 'πιάσει' το κανάλι και θα 'εξαφανίσει' εντελώς τις παρεμβολές από άλλα σήματα, αρά στην FM υπερεισχύει πάντα το δυνατότερο σήμα και μόνο αν οι ισχύς για την μετάδοση των σημάτων μας είναι ακριβώς ίδιες όπως πχ συμβαίνει σε μια διαδρομή στην για να αλλάξουμε πόλεις, μόνο τότε θα ακούγονται και οι 2 σταθμοί αλλά και εκεί δεν θα ακούμε ακριβώς 2 σταθμούς αλλά με θα εναλλάσσονται μέχρι το ισχυρότερο σήμα δηλαδή ο ραδιοφωνικός σταθμός υπερεισχύσει.



Εικόνα 2.3 – Διαφορές AM-FM

2.6 Ψηφιακό σύστημα μετάδοσης

ΟΙ διαμορφώσεις FM και AM έχουν κοινό χαρακτηριστικό ότι είναι αναλογικά συστήματα μετάδοσης, δηλαδή επεξεργάζονται τα ηχητικά κύματα ως συνεχώς μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά σήματα. Όμως υπάρχει ένας άλλος τρόπος μετάδοσης στο ψηφιακό σύστημα ραδιοφώνου εκεί τα σήματα διαδίδονται ως διακριτοί παλμοί τάσης, που αυτό δηλαδή πριν την μετάδοση έχουμε ένα αναλογικό ακουστικό σήμα οπότε θα γίνει η μετατροπή σε ψηφιακό το οποίο θα μεταδοθεί στο φάσμα των συχνοτήτων. Ένα θετικό κύριο στοιχείο που έχει το ψηφιακό σήμα είναι ότι έχει καλύτερη ποιότητα λήψης και στις δύο μπάστες συχνοτήτων η μορφή που χρησιμοποιείτε στα ψηφιακά συστήματα ονομάζεται DAB.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ-ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

Διαμόρφωση ονομάζουμε την διαδικασία που πραγματοποιεί το βασικό σήμα $S(t)$ πληροφορίας, για να προσαρμοστεί πάνω στο σύστημα μας δηλαδή πρόκειται για τις μεταβολές που κάνει στο βασικό μας σήμα στις υψηλές συχνότητες . Αυτό θα το καταφέρουμε φορτώνοντας το σήμα μας πάνω σε ένα άλλο που ονομάζετε φέρον σήμα $M(t)$, το οποίο θα έχει υψηλές συχνότητες και θα μεταφέρει την πληροφορία .

3.1 Γενικά για την διαμόρφωση

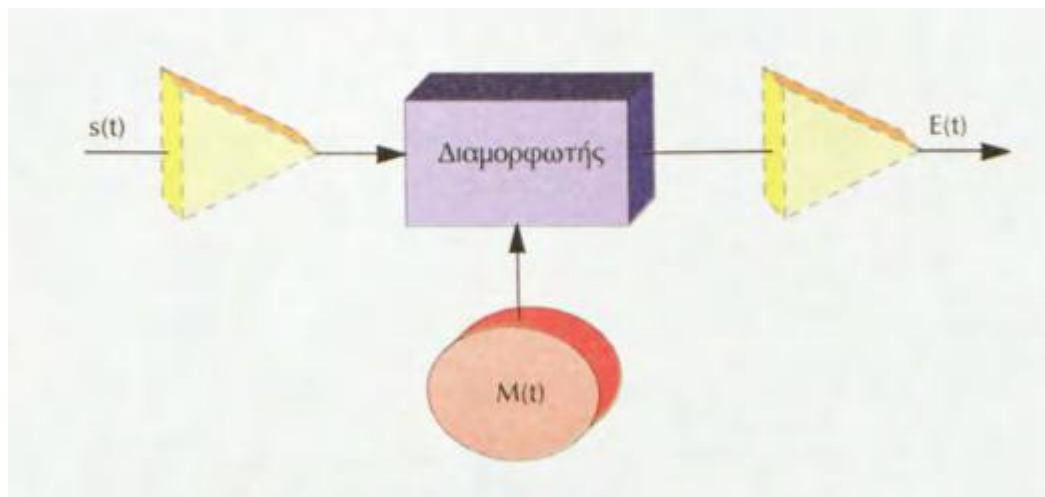
Διαμόρφωση ονομάζουμε την διαδικασία που πραγματοποιεί το βασικό σήμα $S(t)$ πληροφορίας, για να προσαρμοστεί πάνω στο σύστημα μας , δηλαδή πρόκειται για τις μεταβολές που κάνει στο βασικό μας σήμα στις υψηλές συχνότητες . Αυτό θα το καταφέρουμε φορτώνοντας το σήμα μας πάνω σε ένα άλλο που ονομάζετε φέρον σήμα $M(t)$, το οποίο θα έχει υψηλές συχνότητες και θα μεταφέρει την πληροφορία .

Το **βασικό σήμα $S(t)$** η αλλιώς το σήμα που διαμορφώνει είναι η πληροφορία που πρέπει να κωδικοποιήσουμε – διαμορφώσουμε και να μεταδοθεί .

Το **φέρον σήμα $M(t)$** είναι το σήμα υψηλής συχνότητα που μεταφέρει το σήμα μηνύματος.

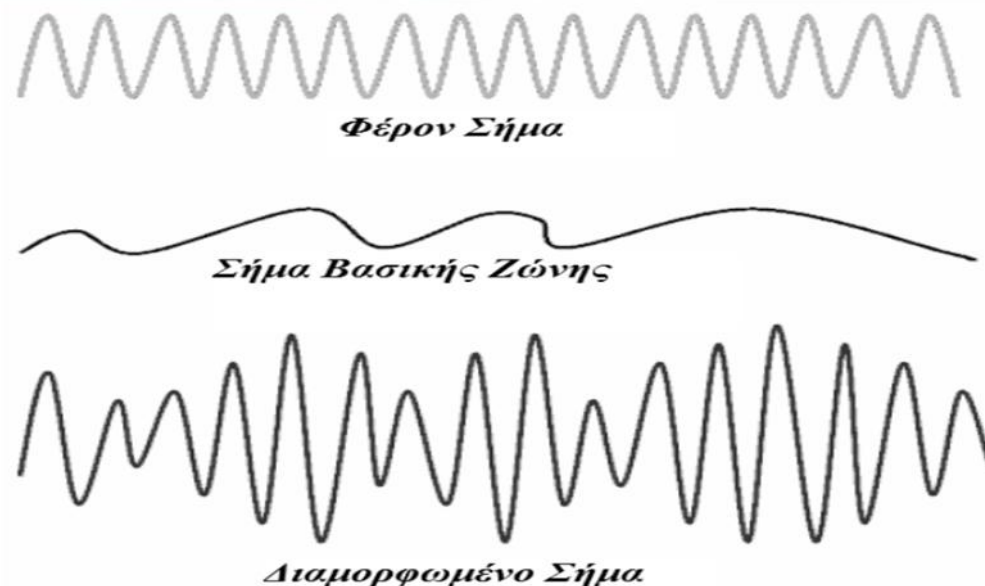
Και το **διαμορφωμένο Σήμα $E(t)$** η αλλιώς ζωνοπερατό σήμα είναι το σήμα που θα προκύψει από το άθροισμα των 2 παραπάνω σημάτων.

$$E(t) = S(t) + M(t) \quad (3,1)$$



Εικόνα 3.1 – Διαμορφωμένο σήμα σχήμα

Η επιλογή του φέροντος θα γίνει με βάση τα χαρακτηριστικά που είναι το πλάτος $M(0)$, η συχνότητα(f) και η φάση(ϕ) .Ο λόγος που χρησιμοποιούμε το φέρον σήμα είναι ώστε να έχουμε καλύτερη ποιότητα στην εκπομπή σήματος και χάρις αυτό δεν θα παρεμβάλουν ιδία σήματα συχνοτήτων πάνω στο σήμα μας .Επειδή εδώ χρησιμοποιούμε το σήμα μας όπως προαναφέραμε στις υψηλές συχνότητες, το φέρον έχει μικρότερη ευαισθησία από ότι θα είχε σε χαμηλές συχνότητες .



Εικόνα 3.2 – Διαμορφωμένο σήμα κυματομορφή

Με την διαδικασία της διαμόρφωσης θα μπορούν να συνυπάρξουν αρκετά ίδια συστήματα δηλαδή θα μεταδίδονται πολλά σήματα με διαφορετικά φέροντα στον ίδιο χώρο ,θα έχουμε λιγότερες απαιτήσεις στα χαρακτηριστικά των συστημάτων εκπομπής σήματος και θα μπορεί να χρησιμοποιεί τα φάσματα που έχουν λιγότερες παρεμβολές στην μετάδοση .

Το είδος της διαμόρφωση καθορίζει 4 πράγματα

1. Την αντοχή στο θόρυβο και την παραμόρφωση του καναλιού
2. Την αναπαραγωγή του αρχικού σήματος πληροφορίας
3. Το BW που χρειάζεται για τη μετάδοση της πληροφορίας
4. ην πολυπλοκότητα των συστημάτων εκπομπής και λήψης

Η διαμόρφωση για να λειτουργήσει σωστά θα πρέπει να παραμείνει ανεπηρέαστο το αρχικό σήμα ώστε ο δέκτης να μπορεί να επαναπροσδιορίσει την πληροφορία

Σε περίπτωση που αντί για υψηλές συχνότητες στην μετάδοση είχαμε χαμηλές για να λειτουργήσει ορθά το σύστημα θα έπρεπε να έχουμε πολύ μεγάλες κεραίες σε μέγεθος και αυτό το γνωρίζουμε από τον τύπο $\lambda = \frac{c}{f}$ (3,2) , όπου λ είναι το μήκος κύματος και c η ταχύτητα του φωτός και μέσο αυτουνού του τύπου προκύπτει και το πλάτος της κεραίας μας, όπου θα είναι ίση με $\lambda/2$ η $\lambda/4$.

Η συχνότητα του φέροντος σήματος είναι ανάλογη με τις διακυμάνσεις του πλάτους ενός σήματος. Οπότε συμπεραίνουμε ότι αυξάνοντας τη συχνότητα ,τόσο θα αυξάνετε και το πλάτος του φέροντος και θα ακτινοβολείτε πιο γρηγορά το σήμα στο χώρο και αντίστροφα .

3.2 Είδη διαμορφώσεων

Τα είδη διαμορφώσεων είναι 3 οι αναλογικές, οι παλμικές και οι ψηφιακές.

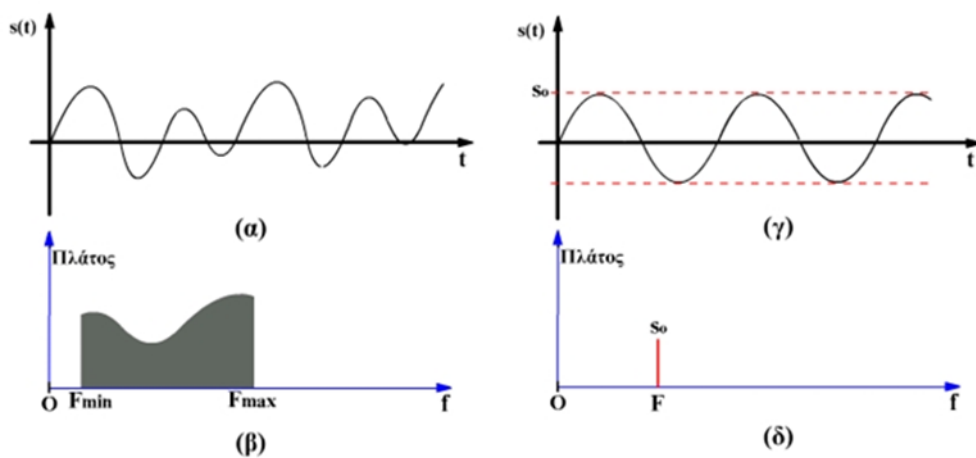
3.2.1 Αναλογικές διαμορφώσεις

Αναλογικές διαμορφώσεις : Όταν το σήμα διαμόρφωσης είναι αναλογικό και το φέρον είναι ημιτονικό σήμα.

Για $f_0 > F_{max}$

$$M(t) = M_0 \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi) = M_0 \cdot \sin(2\pi f_0 t + \varphi) \quad (3,3)$$

Οπού το $2\pi f_0 t$ προκύπτει από την γωνιακή συχνότητα $\omega(t)$, που ισούται με $2\pi f$.



Εικόνα 3.3 – Παλμογραφική και φασματική εικόνα ενός σήματος στην α και β ενός τυχαίου σήματος και στο γ και δ ενός Ημιτονικού σήματος

Οι αναλογικές διαμορφώσεις χωρίζονται και σε 2 υποκατηγορίες αυτές είναι :

- Διαμορφώσεις πλάτους (AM,DSB,SSB)
- Διαμορφώσεις γωνίας (FM,ΦΜ)

3.2.1.1 Διαμόρφωση πλάτους

Στην **διαμόρφωση πλάτους**, η απεικόνιση του σήματος $s(t)$ γίνεται με τέτοιο τρόπο που να επηρεάζετε το πλάτος M_0 του φέροντος .

Αν λάβουμε την συχνότητα του φέροντος σταθερό, τότε το $\omega(t)$ θα ισούται με την αρχική φάση φ_0 $\omega(t)=\omega_0$.Αρά ο τύπος που θα προκύψει θα είναι

$$E(t) = M(s(t)) = M_0(s(t)) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (3,4)$$

Η πιο συνηθισμένη διαμόρφωση πλάτους είναι η **AM**.

AM διαμόρφωση είναι η διαδικασία μεταβολής του πλάτους ενός φέροντος σήματος $M(t)$ σε αναλογία με το πλάτος ενός σήματος $s(t)$.Στην AM επιλέγουμε σταθερή συχνότητα f_0 θα έχουμε ημιτονικό φέρον : $M(t) = M_0 \cdot \cos(\omega_0 t)$.

Αν θεωρήσουμε την αρχική φάση $\varphi_0=0$, τότε το διαμορφωμένο σήμα που προκύπτει είναι :

$$E(t) = [M_0 + s(t)] \cdot \cos(\omega_0 t) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E(t) = M_0 \cdot \cos(\omega_0 t) + s(t) \cdot \cos(\omega_0 t) \quad (3,5)$$

Το εύρος ζώνης BW στην AM είναι 5KHz, και για αυτό ένας σταθμός AM χρειάζεται ελάχιστο εύρος ζώνης 10KHz. Λόγο αυτουνού το εύρος συχνοτήτων που πρέπει να έχει ένας ραδιοφωνικός σταθμός είναι 2BW.

Το φάσμα του διαμορφωμένου φέροντος $E(t)$ το βρίσκουμε μέσο του μετασχηματισμού FOURIER δίνεται από την σχέση

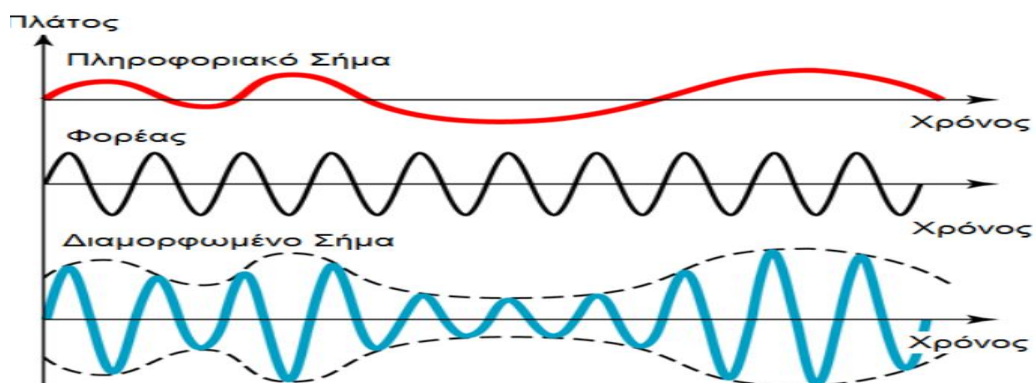
$$E(f) = \frac{M_0}{2} \cdot \delta(f - f_0) + \frac{1}{2} \cdot S(f + f_0) + \frac{1}{2} \cdot S(f - f_0) \quad (3,6)$$

Οπού $S(f)$ το φάσμα του σήματος $S(t)$ και δ η συνάρτηση DIRAC στο κέντρο των συχνοτήτων .
Αν κάνουμε τον Fourier θα έχει ως αποτέλεσμα

$$E(t) = M_0 \left[1 + \frac{S_0}{M_0} \cdot \cos(\Omega t) \right] \cdot \cos(\omega_0 t) \Rightarrow$$

$$E(t) = M_0 [1 + m \cdot \cos(\Omega t)] \cdot \cos(\omega_0 t) \quad (3,7)$$

Ο συντελεστής διαμόρφωσης m πρέπει είναι μικρότερο από 1, μας χρειάζεται για τη αποτελεσματικότητα από πλευρά ισχύος της AM.



Εικόνα 3.4 – διαμόρφωση AM

Μια άλλη μορφή πλάτους, είναι η **διαμόρφωση πλάτους διπλής ζώνης (DSB)** οπού εκει έχουμε πολλαπλασιασμό ενός σήματος φέρον $M(t)$ με το προς μετάδοση σήμα $s(t)$, η συχνότητα φέροντος f_c πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια του εύρους ζώνης BW του σήματος. Το αποτέλεσμα της διαμόρφωσης αυτής θα είναι η ολίσηση του φάσματος του σήματος στην περιοχή της συχνότητας του φέροντος. Αυτή η διαμόρφωση υλοποιείτε χρησιμοποιώντας δύο διαμορφωτές πλάτους.

Αυτό περιγράφετε με την σχέση : $E(t) = s(t) \cdot \cos(\omega_0 t)$ (3,8)

Ενώ το φάσμα του βγαίνει από την σχέση μέσω FOURIER

$$X(\omega) = \frac{1}{2} [M_o(\omega + \omega_o) + M_o(\omega - \omega_o)] \quad (3,9)$$

Η **διαμόρφωση απλής ζώνης (SSB)** είναι ένα περασμένο σήμα DSB ,μέσα από ζωνοπερατό φίλτρο που διατηρεί την μια πλευρική ζώνη(άνω η κάτω).Η SSB παρέχει κέρδος ισχύος 9πλασια από την απλή διαμόρφωση πλάτους επίσης καταναλώνει και πολύ μικρότερο φάσμα συχνοτήτων και γιαυτο είναι κατάλληλη για εφαρμογές ασύρματης και ενσύρματης τηλεφωνίας .

$$s(t) = \cos \omega t$$

$$\cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \sin \omega t \quad (3,10)$$

$$\hat{m}(t) = \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \sin \omega t$$

και μέσω των παραπάνω πράξεων βρίσκουμε έξοδο :

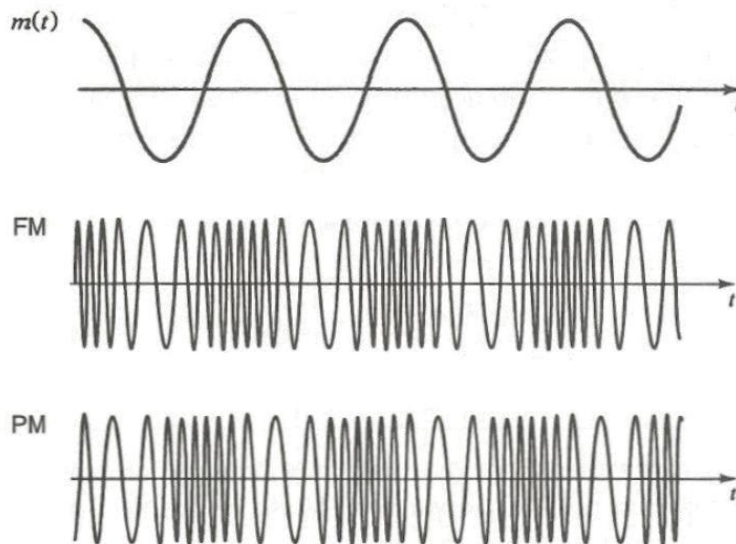
$$y(t) = \cos \omega t \cdot \cos \omega_o t - \sin \omega t \cdot \sin \omega_o t \quad (3,11)$$

3.2.1.2 Διαμορφώσεις γωνίας

Διαμορφώσεις γωνίας η αλλιώς ορίσματος είναι οι διαμορφώσεις που χρησιμοποιηται σήμερα σε πάρα πολλές εφαρμογές ενσύρματων και ασυρμάτων δικτύων ραδιοφωνίας, τηλεόρασης και άλλων . Διαμόρφωση γωνίας ονομάζεται η διαμόρφωση στην οποία το βασικό μας σήμα s(t) και η γωνιά θ του φέροντος μεταβάλλονται , ενώ το πλάτος του φέροντος παραμένει σταθερό . Αυτές οι διαμορφώσεις όπως και τις προηγούμενες τις χωρίζουμε σε 2 κατηγορίες, στις **διαμορφώσεις φάσης ΦΜ** και στις **διαμορφώσεις συχνότητας FM** που θα χρησιμοποιήσουμε στην δικιά μας εφαρμογή . Οι διαμορφώσεις γωνίας έχουν αρκετά χαρακτηριστικά ένα από αυτά είναι ότι παρέχει καλύτερη διάκριση στην παρεμβολή και ως προς τον θόρυβο, αρά έχουμε καλύτερη βελτίωση της απόδοσης αυτό όμως θα έχει αντίτιμο ως προς το εύρος ζώνης της μετάδοσης .

Η διαμόρφωση αυτή θα καταφέρει να αντισταθμίσει πρακτικά το εύρος ζώνης με βελτιούμενη την απόδοση ως προς το θόρυβο, αυτό επιτυγχάνεται εις βάρος της πολυπλοκότητας του συστήματος που είναι αυξημένη τόσο στον πομπό όσο και στον δεκτή . Ο τύπος για ημιτονικό φέρον θα είναι :

$M(t) = M_o \cdot \cos \theta(t)$ (3,12) οπού M_o το πλάτος του φέροντος και θ η γωνιά τους διαμορφωμένου φέροντος στον χρόνο t .



Εικόνα 3.5 – Κυματομορφές πληροφοριακού σήματος, φέροντος και διαμορφωμένου FM και PM

Επειδή το πλάτος όπως αναφέραμε είναι σταθερό θέτουμε $M_0 = E_0$. Κάθε φορά που η γωνιά θ θα αλλάξει κατά 2 rad θα ολοκληρώνετε μια πλήρης ταλάντωση. Οι διαμορφώσεις γωνίας έχουν μερικές ιδιότητες τις οποίες τα κατατάσσουμε σε μια δική τους οικογένεια, οι κυρίες ιδιότητες είναι 5

- 1. Σταθερότητα εκπεμπόμενης ισχύος.** Το πλάτος των σημάτων διατηρεί μια σταθερή τιμή με το πλάτος του φέροντος σήματος για οποιαδήποτε τιμή του χρόνου από τους συντελεστές ευαισθησίας, αυτό φαίνεται και από τον τύπο $\frac{1}{2} E_0^2$ (3,13).
- 2. Μη γραμμικότητα της διαδικασίας διαμόρφωσης.** Η μη γραμμικότητα προκύπτει, λόγω ότι στα σήματα, στις διαμορφώσεις γωνίας παραβιάζουν την αρχή της υπέρθεσης, αυτό θα περιπλέξει τα σήματα ως προς την ανάλυση θορύβου καθώς και την φασματική ανάλυση τους σε σύγκριση με την διαμόρφωση πλάτους, το παραπάνω όμως φέρνει ένα πλεονέκτημα στις διαμορφώσεις γωνίας θα έχει καλύτερη απόδοση ως προς τον θόρυβο.
- 3. Η μη κανονικότητα της αλλαγής πρόσημου.** Είναι η εξάρτηση της γωνίας $\theta(t)$ από το σήμα πληροφορίας $s(t)$. Οι αλλαγές πρόσημων θα επηρεάζει το πλάτος της, από το θετικό στο αρνητικό και αντίστροφα. Αυτό οφείλετε στην μη γραμμικότητα της διαδικασίας της διαμόρφωσης. Στην διαμόρφωση γωνίας η πληροφορία του σήματος $s(t)$ περιέχεται στις αλλαγές πρόσημου, για να ισχύσει αυτό θα πρέπει η συχνότητα του φέροντος f_0 να είναι μεγαλύτερη από την μεγαλύτερη συνιστώσα συχνότητας του βασικού σήματος $s(t)$.
- 4. Η δυσκολία οπτικής αναπαράστασης του σήματος πληροφορίας στην AM.** Η κυματομορφή της είναι περιθάλπουσα του βασικού σήματος όταν το ποσοστό της διαμόρφωσης είναι μικρότερο του 1. Στην διαμόρφωση γωνίας όμως αυτό δεν ισχύει, με αποτελέσματα να μην εμφανίζετε σωστά η αναπαράσταση του σήματος, αυτό οφείλετε την 2^η περίπτωση με την μη γραμμικότητα.
- 5. Η αντιστάθμιση του αυξημένου φάσματος μετάδοσης με τη βελτιωμένη απόδοση ως προς τον θόρυβο.** Αυτό είναι από τα πλεονεκτήματα όπως αναφέραμε παραπάνω της διαμόρφωσης γωνίας, οφείλετε στο ότι η μετάδοση του σήματος με ένα διαμορφωμένο ημιτονικό φέρον έχει μικρότερη ευαισθησία στον προσθετικό θόρυβο. Αυτή η διαδικασία επιτυγχάνετε εις βάρος μιας αύξησης των απαιτήσεων φάσματος μετάδοσης.

Διαμόρφωση ΦΜ (PM) η αλλιώς διαμόρφωση φάσης, είναι ένας είδος διαμόρφωσης στην οποία η γωνιά θ μεταβάλετε γραμμικά με το σήμα πληροφορίας $s(t)$
 $\theta = 2\pi f_0 t + k\phi \cdot s(t)$ (3,14) οπύ το πρώτο μέρος συμβολίζει την γωνιά του αδιαμόρφωτου φέροντος και στο δεύτερο το $k\phi$ οπύ είναι ένας συντελεστής που χαρακτηρίζει τον χρησιμοποιημένο τελεστή της διαμόρφωσης (rad/volt), και το $s(t)$ το βασικό μας σήμα που πρέπει να είναι κυματομορφή τάσης, αν θεωρήσουμε την φάση $\phi_0=0$ τότε και το $2\pi f_0 t = \omega_0 t$

$$\begin{aligned} E(t) &= E_0 \cdot \cos[\omega_0 t + k\phi \cdot s(t) + \phi_0] \Rightarrow \\ \Rightarrow E(t) &= E_0 \cdot \cos[\omega_0 t + k\phi \cdot s(t)] \end{aligned} \quad (3,15)$$

Τώρα αν το βασικό σήμα $s(t)$ είναι μηδενικό δεν θα υπάρχει διαμόρφωση και το φέρον θα είναι μια απλή ημιτονική μορφή.

$$E(t) = E_0 \cdot \cos(\omega_0 t)$$

Η στιγμιαία κυκλική συχνότητα του φέροντος θα είναι

$$f(t) = f_0 + \frac{1}{2\pi} \cdot k\phi \cdot \frac{ds(t)}{dt} = f_0 + k \cdot \frac{ds(t)}{dt} \quad (3,16)$$

Πολλές φορές το $E(t)$ σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει διαμόρφωση το βασικό σήμα θα εφαρμοστεί πάνω στην τιμή $\omega_0 t$, θα το δούμε να αναφέρεται και με τον παρακατω τύπο

$$E(t) = E_0 \cdot \cos[\omega_0 t + \Delta\phi \max \cdot \cos(\Omega t)] \quad (3,17)$$

Διαμόρφωση συχνότητας FM Η συγκεκριμένη διαμόρφωση είναι η πιο γνωστή αναλογική διαμόρφωση στις ραδιοφωνικές επικοινωνίες, αυτή την συγκεκριμένη διαμόρφωση θα χρησιμοποιηθεί και στην δικιά μας περίπτωση. Στην FM το σήμα πληροφορίας μεταβάλετε γραμμικά με την στιγμιαία συχνότητα. Η συγκεκριμένη διαμόρφωση θα συζητηθεί περαιτέρω σε συγκεκριμένη Υπό ενότητα.

3.2.2 Παλμικές διαμορφώσεις

Στις Παλμικές διαμορφώσεις, όταν το σήμα διαμόρφωσης είναι αναλογικό και το φέρον σήμα είναι παλμικό υψηλής συχνότητας. Όπως και τις διαμορφώσεις πλάτους και εδώ χωρίζονται οι διαμορφώσεις σε κατηγορίες σε **Αναλογικές διαμορφώσεις παλμών** και **παλμικές διαμορφώσεις ημιτονικού φέροντος**.

3.2.2.1 Αναλογικές διαμορφώσεις παλμών

Σε αυτές τις διαμορφώσεις όπως προαναφέραμε το φέρον $M(t)$, είναι ένα παλμικό σήμα και το σήμα $s(t)$ είναι αναλογικό. Οι διαμορφώσεις αυτές καθορίζονται από 3 χαρακτηριστικά το Πλάτος τους W , την περίοδο (T_s) και τον κυκλικό λόγο (d) και την διάρκεια του παλμού (τ)

$$d = \frac{\tau}{T_s} \quad (3,18)$$

Οι αναλογικές διαμορφώσεις παλμών χωρίζονται και 3 υποκατηγορίες διαμορφώσεων (P.A.M, P.P.M, P.W.M)

- Στην διαμόρφωση πλάτους παλμών γνωστή και ως PAM, το σήμα μεταβάλλει το πλάτος των παλμών. Η PAM παράγεται από τεμαχιστή (CHOPER), ενώ για να έχουμε παλμούς με επίπεδη κορυφή χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα Sample and Hold. Η συνάρτηση δειγματοληψίας είναι περιοδική, άρα αναλύεται μέσω Fourier

$$s(t) = \tau f_s \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc}(nf_s \tau) \exp(jn2\pi f_s t)$$

$$E(t) = s(t) \cdot M(t)$$

$$E(t) = \tau f_s \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc}(nf_s \tau) \exp(jn2\pi f_s t) \cdot s(t) \quad (3,19)$$

$$E(t) = \tau f_s \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc}(nf_s \tau) M(f - nf_s)$$

$$d = \tau f_s = \frac{\tau}{T_s} \quad (3,20)$$

και το φάσμα της είναι

- Η διαμόρφωση θέσης παλμών PPM μεταβάλλει την θέση των παλμών της κυματομορφή ανάλογα με το σήμα $s(t)$ μέσω κατάλληλου τελεστή σε αυτή τη περίπτωση το πλάτος παραμένει συνεχές, ο πομπός στέλνει παλμούς sink για να κρατήσει τον συγχρονισμό ενός κυκλώματος.
- Διαμόρφωση PWM Ονομάζουμε την διαμόρφωση που το σήμα $s(t)$ μεταβάλλει τον κυκλικό λόγο αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η χρονική διάρκεια, το πλάτος του παλμού διαφέρει σε αυτή την μέθοδο ενώ το πλάτος του σήματος θα παραμένει μια σταθερή μεταβλητή. Στην διαμόρφωση PWM περιορίζετε και ο θόρυβος.

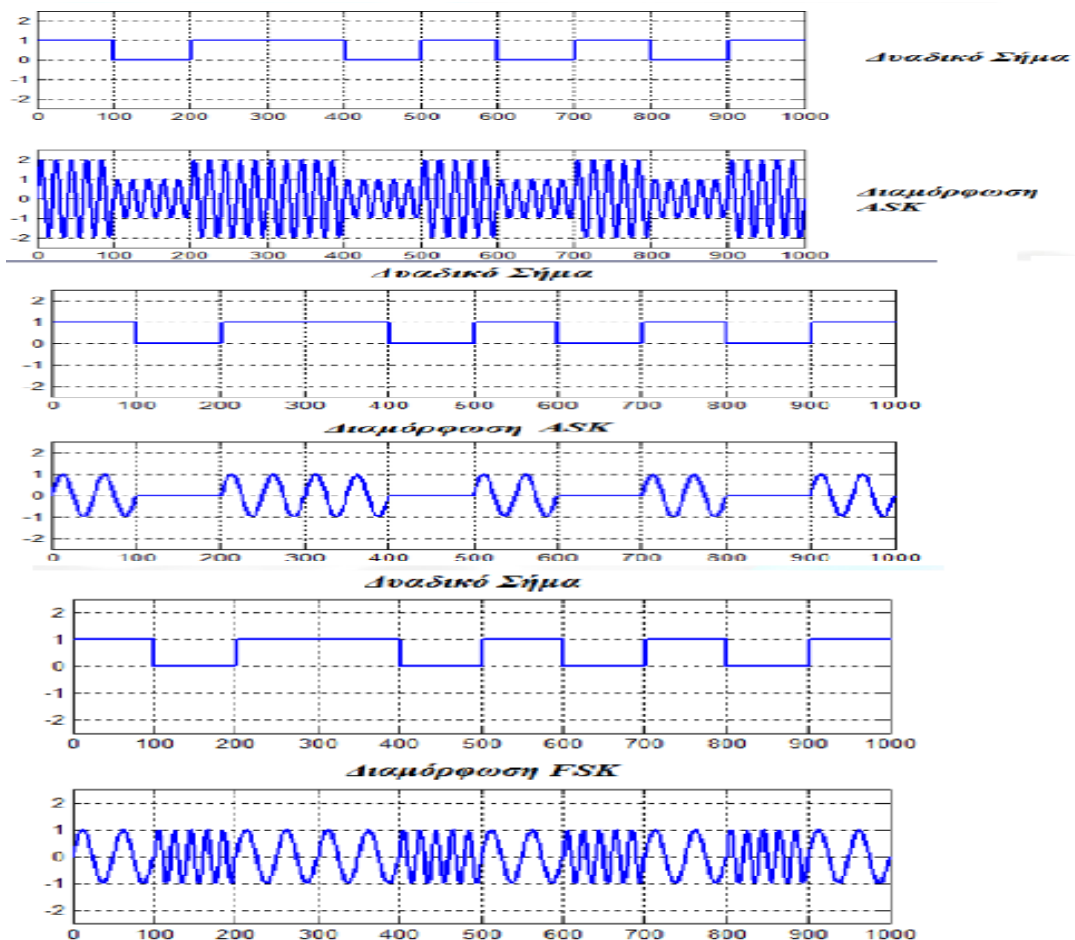
3.2.2.1 Παλμικές διαμορφώσεις που εμπεριέχουν ημιτονικό φέρον

σε αυτές τις διαμορφώσεις το σήμα είναι συνδυασμός δυαδικών συμβολών που περιλαμβάνουν ημιτονικό φέρον (A.S.K, F.S.K, P.S.K)

ASK είναι η διαμόρφωση πλάτους ημιτονικό φέροντος, σε αυτήν την περίπτωση τα bit υπό την μορφή (1,0) υποδηλώνουν την ύπαρξη ή όχι ενός φέροντος σήματος. Η ASK λειτουργεί σαν ένας διακόπτης on off, όπου όταν έχουμε 1 θα περνάει το φέρον σήμα όπου θα έχουμε ένα σταθερό πλάτος, ενώ όταν έχουμε 0 θα αλλάζει το πλάτος και θα παραμένει η συχνότητα. Η συγκεκριμένη διαμόρφωση χρησιμοποιείται για κωδικα μορς, ραδιοφωνικές συχνότητες.

FSK είναι η παλμική διαμόρφωση συχνότητας, Σε αυτήν τη περίπτωση τα bit υποδηλώνουν την αλλαγή συχνότητας του φέροντος σήματος, όταν έχουμε το bit =1 θεωρούμε μια συγκεκριμένη συχνότητα, όταν έχουμε bit=0 αλλάζει συχνότητα και κρατάμε σταθερό το πλάτος. Αυτήν την μορφή στην ραδιοφωνία την χρησιμοποιούν ερασιτέχνες γιατί επιτρέπει μεταφορά δεδομένων από μη τροποποιημένο εξοπλισμό για μετάδοση φωνής.

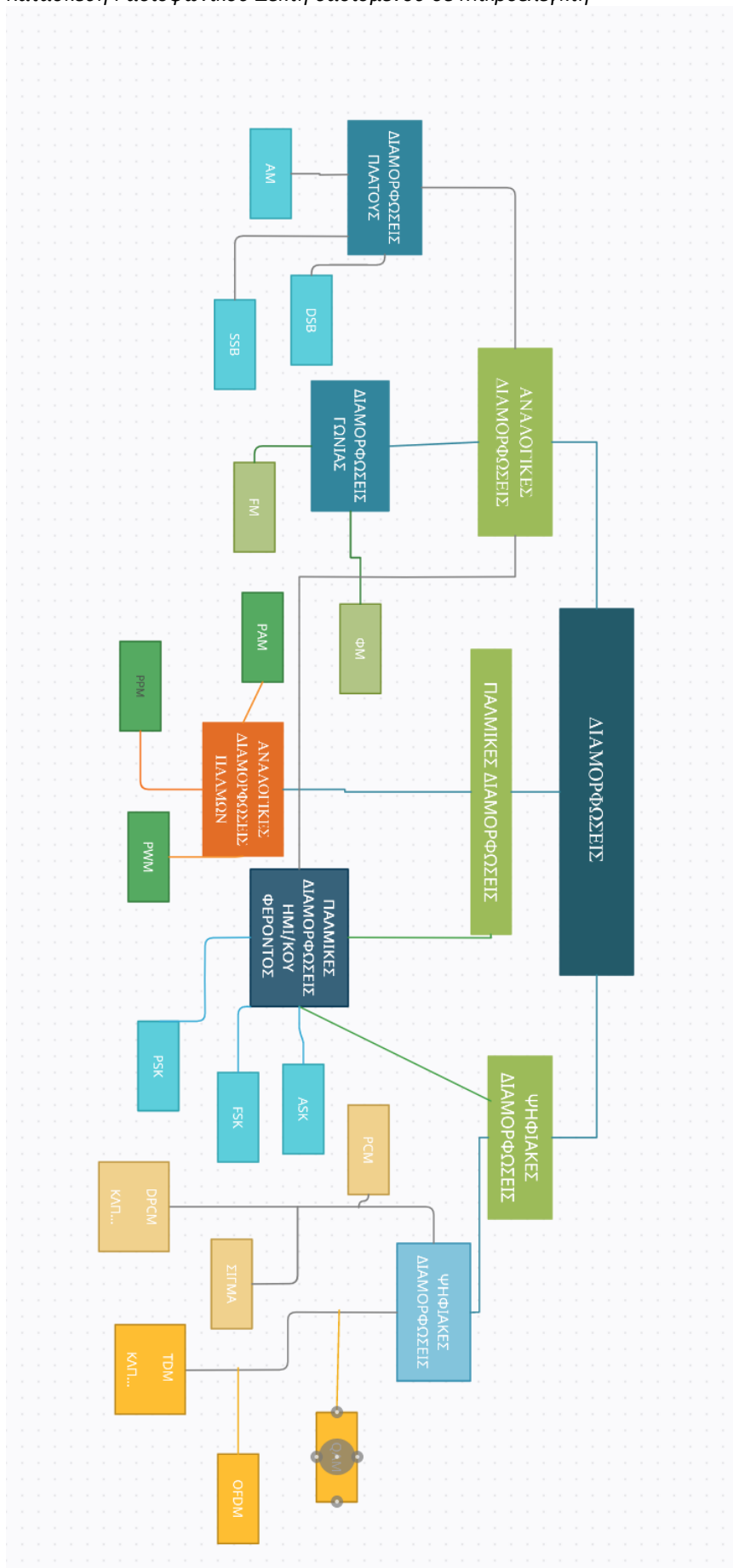
PSK είναι η παλμική διαμόρφωση φάσης, σε αυτήν τη περίπτωση τα bit υποδηλώνουν την αλλαγή φάσης κατά π ενώ τα υπόλοιπα μένουν σταθερά, για bit=1 $\varphi=0$ για bit=0 $\varphi=+\pi$ μοίρες. Υπάρχουν και αρκετές παράγωγες της PSK όπως είναι η BPSK και η QPSK



Εικόνα 3.6 – Παλμικές διαμορφώσεις που εμπεριέχουν ημιτονικό φέρον

3.2.3 Ψηφιακές διαμορφώσεις

Ψηφιακές διαμορφώσεις λέμε, όταν το σήμα διαμόρφωσης είναι ψηφιακό δηλαδή όταν σε μια διαμόρφωση έχει προηγηθεί ψηφιοποίηση του βασικού σήματος. Την σήμερα ημέρα που η τεχνολογία έχει προοδεύσει πάρα πολύ οι ψηφιακές διαμορφώσεις ο λόγος είναι ότι διευκολύνεται η επεξεργασία του σήματος καθώς υλοποιούνται πιο ευκολά, η κωδικοποίηση, τα ψηφιακά φίλτρα, ψηφιακή συμπίεση - αποσυμπίεση της πληροφορίας, οι ψηφιακές διαμορφώσεις είναι οι πιο σύγχρονες μέθοδοι διαμόρφωσης και με πάρα πολλά είδη. Η PCM διαμόρφωση είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση του αναλογικού σήματος, όπου το πλάτος του βασικού σήματος, δειγματοληπτείται, κβαντίζεται και μεταδίδεται ως μια σειρά συμβόλων m , διαφορετικών ψηφιακών συμβολών $S_i(\text{bytes})$ των k δυαδικών (bit) $k = \log_2 m$. Ο δέκτης από τους παλμούς που λαμβάνει ανακτά τη ψηφιακή ακολουθία συμβόλων και ξανακατασκευάζει το αναλογικό σήμα μέσω ενός μετατροπέα D/A. Παράγωγες διαδικασίες της PCM υπάρχουν αρκετές μια από αυτές είναι η διαμόρφωση δέλτα η οποία χρησιμοποιεί έναν κβαντιστή 2 επίπεδων ενός bit που αυτό σημαίνει ότι θα μεταδίδει την πληροφορία με λιγότερο εύρος ζώνης, επίσης δεν χρειάζεται στον δεκτή φίλτρο του ψηφιακού σήματος σε αναλογικό, αλλά έχει αρνητικό ότι είναι πιο ευαίσθητο ως προς τον θόρυβο. Σε παρόμοιο μοτίβο κατάγουν και οι διαμορφώσεις σίγμα DPCM κλπ. Όλα αυτά τα είδη διαμορφώσεων καταλήγουν σε μια δημιουργία διακριτής πηγής πληροφορίας. Σε μια ψηφιακή διαμόρφωση στην Είσοδο υπάρχει ένα σήμα διακριτού χρόνου που είναι τυπικά μια αλληλουχία των m συμβολών. Αξιοποιώντας συνδυασμούς διαμορφώσεων με χαρακτηριστικά, πλάτος, συχνότητα και φάση ημιτονικού φέροντος, και έτσι προκύπτει η διαμόρφωση m -qam όπου $m=4,8,16,32,\dots$. Η QAM προκύπτει από συνδυασμό ορθογωνίων φερόντων με διαφορά φάσης $\pi/2$. Η OFDM είναι μια γενίκευση αυτών, Η OFDM είναι μια Διαμόρφωση με την οποία μεταδίδονται μεγάλες ποσότητες πληροφορίας σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα, και την προτιμάνε λόγω της ορθογωνιότητας μεταξύ των συχνοτήτων των φερόντων. Οι διαμορφώσεις διάχυσης φάσματος (Spread Spectrum) όπου η πληροφορία συνεισφέρει στην δημιουργία του φέροντος. Στις ψηφιακές διαμορφώσεις υπάρχουν και είδη πολυπλεξίας, η πολυπλεξία στον χρόνο T.D.M που είναι χρήσιμη για να έχουμε ελάχιστη χρονική καθυστέρηση στην μετάδοση των δεδομένων μας, η πολυπλεξία στην συχνότητα F.D.M που μας χρησιμεύει και αυτή για έχουμε πολλά φέροντα σήματα με διαφορετικές συχνότητες.



Εικόνα 3.7 – Είδη διαμορφώσεων.

3.3 Διαμόρφωση συχνότητας FM

Όπως αναφέραμε η συγκεκριμένη διαμόρφωση είναι η πιο γνωστή αναλογική διαμόρφωση στις ραδιοφωνικές επικοινωνίες, Στην FM το σήμα πληροφορίας μεταβάλλεται γραμμικά με την στιγμιαία συχνότητα. Στην FM η συχνότητα του φέροντος διαμορφώνεται ανάλογος με το πλάτος του βασικού σήματος $s(t)$, το πλάτος του φέροντος $M(t)$ παραμένει σταθερό, ενώ η συχνότητα του μεταβάλλεται από το διαμορφώνον σήμα. Καθώς το πλάτος του σήματος πληροφορίας μεταβάλλεται, η συχνότητα του φορέα ολισθαίνει ανάλογα. Καθώς το πλάτος του διαμορφώνοντος σήματος μεγαλώνει, τόσο η συχνότητα του φορέα αυξάνεται και ανάλογος και στην μείωση. ο κεντρικός τύπος της FM προκύπτει αρχικά από την κυκλική συχνότητα $\omega(t) = \omega(t) = \omega_0 + 2\pi k_f \cdot s(t)$ (3,20).

Όπου k_f συμβολίζει την ευαισθησία της συχνότητας του διαμορφωτή και μετριέται σε (Hz/Volt) η φάση του φέροντος θα επηρεαστεί με αποτέλεσμα να προκύψει

$$\varphi = \int \omega(t) \cdot dt = \omega_0 t + K \omega \cdot \int s(t) \cdot dt + \varphi_0 \quad (3,21)$$

Όπου $K\omega$ είναι ο συντελεστής του τελεστή διαμόρφωσης και μετριέται σε (Rad/secvolt) και ισούται με $K\omega = 2\pi \cdot K_f$ και όπως γνωρίζουμε αν μηδενίσουμε το φ_0 η έξοδος του διαμορφωμένου σήματος θα είναι

$$E(t) = E_0 \cdot \cos(\omega_0 t + K \omega \cdot \int s(t) dt) \quad (3,22)$$

Στην περίπτωση της FM διαμορφώσεις η φάση θα επηρεαστεί προσθετικά από το ολοκλήρωμα του βασικού σήματος $s(t) = S_0 \cdot \cos(\Omega t)$

Αν υπολογίσουμε τα μεγέθη

$$\omega(t) = \omega_0 + K \omega \cdot S_0 \cdot \cos(\Omega t) = \omega_0 + K \omega \cdot \Delta \omega_{\max} \cdot \cos(\Omega t)$$

$$\Phi(t) = \omega_0 t + \frac{K \omega \cdot S_0}{\Omega} \cdot \sin(\Omega t) \quad (3,23)$$

Και από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει το τελικό αποτέλεσμα, στην έξοδο. Οπότε το τελικό έξοδος θα είναι

$$E(t) = E_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \frac{K \omega \cdot S_0}{\Omega} \cdot \sin(\Omega t)) \quad (3,24)$$

Υπάρχουν κάποιες παράμετροι που μας βοηθούν στο να υλοποιήσουμε εφαρμογές πάνω στην FM, μια από αυτές είναι η **μέγιστη απόκλιση της κυκλικής συχνότητας** $\Delta\omega_{\max}$ που προκαλείται όταν το πλάτος του βασικού σήματος μεταβάλλεται, η συχνότητα του φέροντος μεταβάλλεται γύρω από την κανονική κεντρική κυκλική συχνότητα ω_0 . Μια άλλη παράμετρος είναι η **απόκλιση συχνότητας** Δf όπου είναι το ποσό της μεταβολής της συχνότητας του φέροντος σήματος, που παράγεται από το διαμορφώνον σήμα. Η

μέγιστη απόκλιση συχνότητας Δf_{\max} συμβαίνει στο μέγιστο πλάτος του διαμορφώνοντος

σήματος.
$$\Delta f_{\max} = \frac{\Delta \omega_{\max}}{2\pi} = \frac{K_f \omega \cdot S_o}{2\pi} = K_f \cdot S_o \quad (3.25)$$

Μια άλλη παράμετρος είναι η μέγιστη αποκαλούμενη απόκλιση φάσης m του φέροντος στην διαμόρφωση συχνότητας η οποία πολλές φορές αναφέρεται ως **δείκτης διαμόρφωσης FM**, από αυτό το μέγεθος εξαρτάται η ακριβής εικόνα που θα έχει μετά την διαμόρφωση του φάσμα μας.

$$m = \frac{\Delta \omega_{\max}}{\Omega} = \frac{K_f \omega \cdot S_o}{\Omega} = \frac{K_f \cdot S_o}{F} = \frac{\Delta f_{\max}}{F}$$
$$m = \frac{\Delta f_{\max}}{F_{\max}} = \frac{75\text{kHz}}{15\text{kHz}} \quad (3.26)$$

Παρόμοιος υπάρχει και μια άλλη παράμετρος που δεν είναι τόσο σημαντική στην FM, το **ποσοστό διαμόρφωσης FM** p

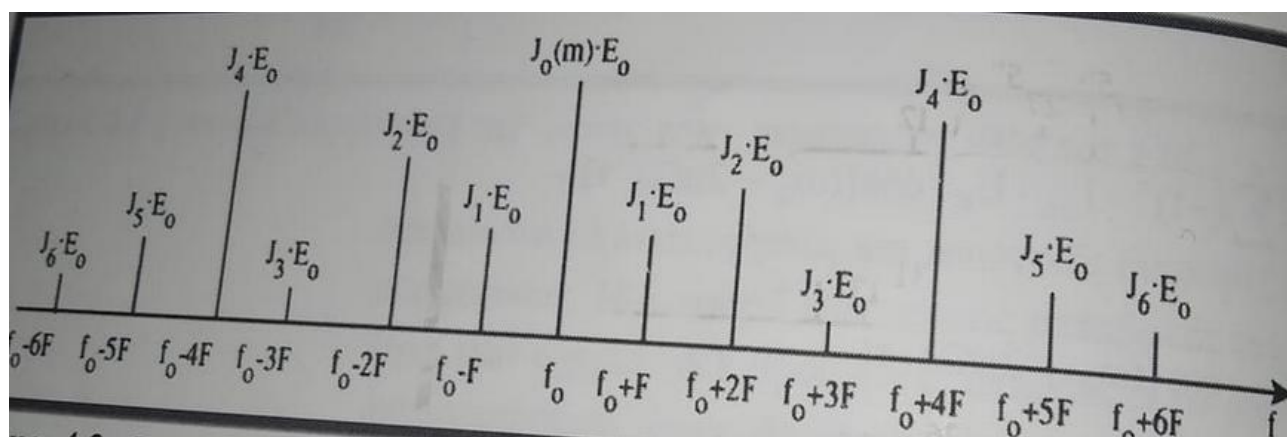
$$p = \frac{\Delta f_{\max}}{f_o} \quad (3.27)$$

Η συχνότητα του διαμορφώνοντος σήματος καθορίζει πόσες φορές ανά δευτερόλεπτο η συχνότητα φέροντος θα αποκλίνει πάνω κάτω από την κεντρική του συχνότητα F_o . Ας πούμε ότι έχουμε ένα διαμορφωμένο σήμα πληροφορίας, είναι ένα χαμηλό συχνό ημιτονικό κύμα.

3.4 ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ -ΕΥΡΟΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ

Στις διαμόρφωση FM το φάσμα ορίζεται από τις **πλευρικές ζώνες**, οι πλευρικές ζώνες στην FM μετάδοση ζσχδπαράγουνε πλευρικές συχνότητες τις οποίες διαχωρίζουμε σε άνω και κάτω πλευρικές οπού άνω θα είναι οι πλευρικές που θα πηγαίνουν προσθετικά(F_0+fa), οπού fa ένας απλός αριθμός συχνότητας($f_1,f_2,f_3\dots$) στην κεντρική συχνότητα και κάτω αυτές που θα πηγαίνουν αφαιρετικά(F_0-fa). Το εύρος που θα έχουν αυτές οι πλευρικές φτάνει θεωρητικά στο άπειρο καθώς διαχωρίζονται σε ζευγάρια, άνω και κάτω πλευρικών ζωνών. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα ένα μεγάλο σε εύρος φάσμα συχνοτήτων ενός FM σήματος. Μπορεί επίσης να δημιουργηθεί ειδικό στενής ζώνης FM σήμα του οποίου το εύρος ζώνης να είναι ελαφρά μεγαλύτερο από ενός AM σήματος.

Σημειώνουμε ότι οι πλευρικές ζώνες απέχουν από το φορέα F_0 μεταξύ τους κατά μια συχνότητα ίση με τη διαμορφώνουσα συχνότητα FM



Εικόνα 3.8 - φασματική ζώνη

Αν όλες οι παραπάνω πλευρικές ζώνες προστεθούν θα δημιουργηθεί το λεγόμενο FM σήμα το οποίο θα αποτελείτε από πολλά ημιτονικά σήματα, με μια συγκεκριμένη συχνότητα και ένα συγκεκριμένο πλάτος τα οποία θα έχουν προστεθεί μεταξύ τους. Ο αριθμός των πλευρικών που παράγονται, το πλάτος τους και η απόσταση μεταξύ τους εξαρτώνται από την απόκλιση **συχνότητας Δf** και την **διαμορφωμένη συχνότητα F** . Καθώς το πλάτος του σήματος μεταβάλλεται, ταυτόχρονα θα μεταβάλλεται και η απόκλιση συχνότητας του. Αν το FM σήμα είναι ένα άθροισμα πλευρικών συχνοτήτων τότε τα πλάτη των πλευρικών πρέπει να μεταβάλλονται ανάλογα με την απόκλιση συχνότητας καθώς και τη διαμορφώνουσα συχνότητα αν το άθροισμα τους παράγει ένα σήμα με σταθερό πλάτος.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω το σήμα μας μπορεί να παράγει άπειρες πλευρικές, αυτό όμως στην πράξη δεν ισχυει κατά 100% διότι μετα από κάποια τάξη το πλάτος του φάσματος θα μειώνεται και σχεδόν θα μηδενίζεται, αυτό σημαίνει ότι θα έχει όλο και πιο μικρό ποσοστό ισχύος. Οπότε από όλο αυτό το άπειρο φάσμα των ακτινών μόνο αυτές που θα έχουν τα μεγαλύτερα πλάτη μας είναι χρήσιμα, ορίζουμε ως 1% του πλάτους αδιαμόρφωτου σήματος,

οτιδήποτε πληροφορία βρίσκεται εκτός αυτουνού το παραβλέπουμε επομένως το εύρος ζώνης ενός FM σήματος στενεύει.

Η γνώση του δείκτη διαμόρφωσης m επιτρέπει τον υπολογισμό του αριθμού και των πλατών των σημαντικών πλευρικών. Αυτό γίνεται μέσω μιας πολύπλοκης μαθηματικής επεξεργασίας, με τη βοήθεια των συναρτήσεων Bessel η αντίστοιχους πίνακες τιμών.

x	Bessel-function order, n																
	J_0	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{11}	J_{12}	J_{13}	J_{14}	J_{15}	J_{16}
0.00	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.25	0.98	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.5	0.94	0.24	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.41	0	0.52	0.43	0.20	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.0	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—
5.53	0	-0.34	-0.13	0.25	0.40	0.32	0.19	0.09	0.03	0.01	—	—	—	—	—	—	—
6.0	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—	—
7.0	0.30	0.00	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—
8.0	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	—	—	—	—	—
8.65	0	0.27	0.06	-0.24	-0.23	0.03	0.26	0.34	0.28	0.18	0.10	0.05	0.02	—	—	—	—
9.0	-0.09	0.25	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.31	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	—	—	—
10.0	-0.25	0.04	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.32	0.29	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	—	—
12.0	0.05	-0.22	-0.08	0.20	0.18	-0.07	-0.24	-0.17	0.05	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01

Πίνακας 3.1 Bessel

Ο παρακατω πίνακας τιμών βασίζεται στις συναρτήσεις Bessel. Μας δείχνει τα πλάτη φορέα και πλευρικών ζωνών για διαφορετικούς δείκτες διαμόρφωσης των FM σημάτων. Από ότι παρατηρούμε έχουμε παραλείψει όλες τις πλευρικές που είναι μικρότερες του 1% . Οι αρνητικές τιμές μας δείχνει ότι το σήμα μας έχει ολίσηση κατά 180 μοίρες .

Ο αριθμός των σημαντικών πλευρικών και τα πλάτη τους εξαρτώνται από το την απόκλιση συχνότητας Δf_{max} και από τη διαμορφώνουσα συχνότητα F ,από τα παραπάνω προκύπτει όπως γνωρίζουμε ο δείκτης διαμόρφωσης m .

$$m = \frac{\Delta f \max}{F} \quad (3,28)$$

Μέσω του κανόνα του Carson προκύπτει το εύρος ζώνης που ισούται

$$B = 2 \cdot (m \cdot F + F) = 2 \cdot (\Delta f_{\max} + F) \quad (3,29)$$

ΑΝ $m \gg 1$ τότε

$$B = 2 \cdot m \cdot F = 2 \cdot \Delta f_{\max} \quad (3,30)$$

Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε διαμόρφωση ευρείας ζώνης (WBFM) δηλαδή το εύρος της φασματικής ζώνης της FM είναι το ίδιο με αυτό το οποίο μεταβάλετε τη συχνότητα τους φέροντος .

Για $m \ll 1$ θα έχουμε διαμόρφωση μικρου δείκτη η αλλιώς διαμόρφωση στενού εύρους .

$$B = 2 \cdot F (\gg m \cdot F = \Delta f_{\max}) \quad (3,31)$$

Στην FM Διαμόρφωση υπάρχουν κάποια φασματικά όρια του ακουστικού σήματος ,ως προς την διαμορφωμένη συχνότητα όσο και στην απόκλιση συχνότητας . Η διαμορφωμένη συχνότητα F θα καταλαμβάνει ένα φάσμα από 0 έως 15Khz, ενώ το μέγιστο της απόκλισης συχνότητας Δf θα είναι στα 75Khz,αυτή η απόκλιση αντιστοιχεί για δείκτη διαμόρφωσης $m=5$ και την συχνότητα $F_{\max}=15.000$ άρα

$$m_{\min} = \frac{\Delta f_{\max}}{F_{\max}} = \frac{75kHz}{15kHz} \quad (3,32)$$

οπού το m_{\min} είναι η ονομαστική τιμή του δείκτη διαμόρφωσης στην FM

Το συμπέρασμα είναι ότι το τελικό εύρος που προκύπτει για την φασματική ζώνη είναι ότι

$$B = 2 \cdot (75 + 15) = 180kHz \quad (3,33)$$

Αρά το εύρος για κάθε δίαυλο στην FM Ραδιοφωνία είναι ίση με 180kHz.

Για να επιτύχουμε σταθερή απόκλιση συχνότητας στην FM διαμόρφωση, θα χρειαστεί μια ειδική επεξεργασία του σήματος $s(t)$. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή με τον ορό **έμφαση** .Στην έμφαση ενισχύουμε τις υψηλές φασματικές συνιστώσες, η αντίστοιχα την εξασθένηση του πλάτους στις χαμηλές συχνότητες . Αντίστοιχα υπάρχει και η **αποέμφαση** που χρησιμοποιείται στην αποδιαμόρφωση του δεκτή η οποία κάνει την ανάποδη διαδικασία .

3.5 ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ

Η αποδιαμόρφωση είναι η αντιστροφή πράξη της διαμόρφωσης . Η αποδιαμόρφωση λέγεται αλλιώς φώραση η διευκρίνιση όπως αναφέρονται συνήθως στην βιβλιογραφία . Στην έξοδο ενός αποδιαμορφωτή ανακτούμε το σήμα διαμόρφωσης $s(t)$, που αντιπροσωπεύει την βασική μας πληροφορία . Η αποδιαμόρφωση είναι το βασικό στάδιο του δεκτή στις τηλεπικοινωνίες . Η Διαδικασία του αποδιαμορφωτή , στην είσοδο το διαμορφωμένοι φέρον $E(t)$ φτάνει αν δεν υπάρχει στάδιο ενδιάμεσης συχνότητας στον δεκτή η αν το διαμορφωμένο σήμα ενδιάμεσης συχνότητας είναι ένας ετερόδυνος δέκτης . Όπως αναφέραμε σε κάθε είδος διαμόρφωσης θα υπάρχει και η αντίστοιχη αποδιαμόρφωση του σήματος .

Στον απλό δεκτή η κεντρική συχνότητα του φάσματος πριν την διαμόρφωση θα είναι η συχνότητα φέροντος (f_0) ενώ στον ετεροδύνο δεκτή θα έχουμε αλλαγή συχνότητας. Στην είσοδο του διαμορφωτή το νέο φέρον θα έχει συχνότητα φάσματος την (F_{if}), το εύρος φάσματος και για τις 2 περιπτώσεις θα είναι το ίδιο , στη συνέχεια θα διατηρηθεί στην λειτουργία το σύμβολο (f_0) ως συχνότητα φέροντος ως προς την λειτουργία της αποδιαμόρφωση. Υπάρχουν αρκετές αποδιαμορφώσεις σημάτων οι βασικές όμως είναι η αποδιαμόρφωση πλάτους η αλλιώς φώραση και τον αποδιαμορφωτή αντίστοιχα ως φωρατή, και η αποδιαμόρφωση συχνότητας η αλλιώς διεκρινιστή .

3.5.1 Αποδιαμόρφωση πλάτους η φώραση αναπτύγματος

αναφέρεται στην διαμόρφωση πλάτους με υπάρχουσα συνιστώσα φέροντος , οπου το βασικό σήμα $s(t)$ είναι το ανάπτυγμα του φέροντος σήματος , στον ρολό του αποδιαμορφωτή έχουμε ένα μη γραμμικό στοιχείο (μια απλή δίοδο) συνδεδεμένη με ένα χαμηλότερο φίλτρο RC οπου το φίλτρο θα

έχει συχνότητα αποκοπής .
$$f_a = \frac{1}{2} \pi RC \quad (3,34)$$

Η δίοδος θα έχει 2 λειτουργίες ανάλογος το μέγεθος του πλάτους των σημάτων , για μεγάλα πλάτη η δίοδος θα εξομοιωθεί με διακόπτη ενώ για μικρά πλάτη η χαρακτηριστική της δίοδου θα ακολουθεί τον νομό του τετράγωνου.

Το Χαμηλοπερατό φίλτρο θα οριστεί με συχνότητα αποκοπής F_a οπου θα επαληθεύει την ανισότητα $F_{max} < f_a < f_0$, σε αυτή την περίπτωση η τάση εξόδου θα αντιστοιχεί στην μέση τιμή του ρέματος μ και είναι ανάλογη του βασικού σήματος $s(t)$.

Στην φώραση το διαμορφωμένο σήμα θα πολλαπλασιάζεται με το σήμα ενός τοπικού ταλαντωτή που θα έχει την ίδια φάση και συχνότητα με το φέρον σήμα, ο τοπικός ταλαντωτής θα συγχρονιστεί με το αρχικό φέρον της συχνότητας f_0 σε περίπτωση που έχουμε έναν απλό δεκτή χωρίς στάδιο ενδιάμεσης συχνότητα , σε αντίθετη περίπτωση δηλαδή οπου θα έχει στάδιο ο τοπικός ταλαντωτής θα συγχρονιστεί με την ενδιάμεση συχνότητα, αν θέσουμε το $E(t)$ διαμορφωμένο κατά πλάτος

$$E(s(t)) \rightarrow s(t)$$

$$E(t) = [E_0 + s(t)] \cdot \cos \omega_0 t \rightarrow s(t) \quad (3,35)$$

Οπου το $s(t)$ αποτελεί ανάπτυγμα του φέροντος . Ο τοπικός ταλαντωτής $R(t)$ ισούται με

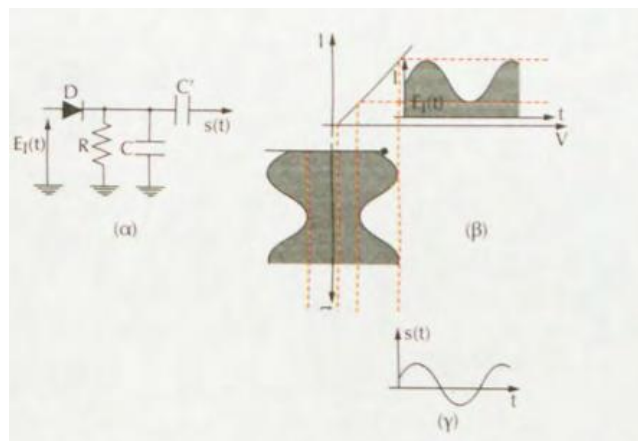
$$R(t) = 1 \cdot \cos(\omega_0 t) \quad (3,36)$$

$$V(t) = [E_0 + s(t)] \cos^2(\omega t) \quad (3,37)$$

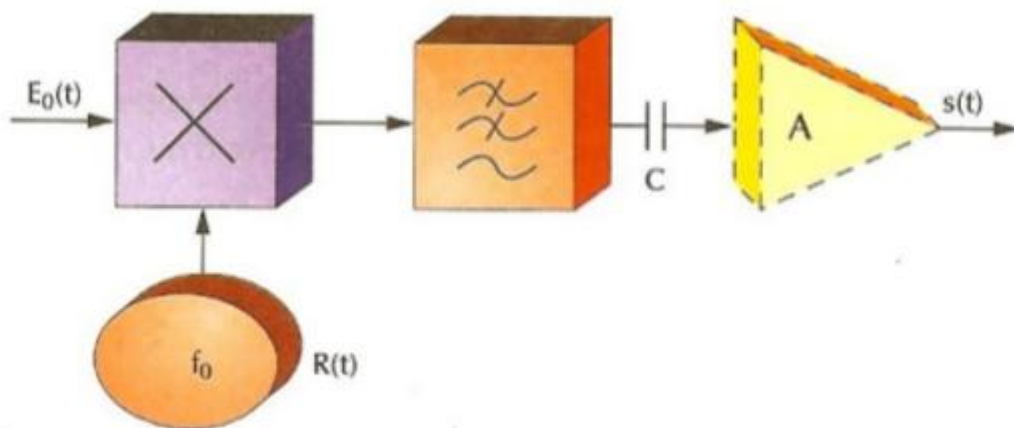
Το ρεύμα εξόδου της διόδου (γραμμικού στοιχείου), όπου θα προκύπτει εφαρμόζοντας ημιτονική κυματομορφή στην εισόδου (τάση ή ρεύμα). Το ρεύμα που θα προκύψει στην έξοδο θα είναι με την μορφή Fourier

$$i(t) = \bar{i} + I_1 \cdot \cos(\omega t + \varphi_1) + I_2 \cdot \cos(\omega t + \varphi_2) + I_3 \cdot \cos(\omega t + \varphi_3) + \dots$$

Όπου το $i_1, i_2 \dots$ και η μέση τιμή \bar{i} είναι ευθέως ανάλογα του πλάτους της κυματομορφής E_0 .



Εικόνα 3.9 – Η αποδιαμόρφωση



Εικόνα 3.10 – Ο φορατής

Όπως έχουμε διαμορφώσεις **SSB** και **DSB**, θα υπάρχουν αντίστοιχα αποδιαμορφώσεις στον δεκτή. Σε αντίθεση με την διαμόρφωση πλάτους, στις περιπτώσεις των SSBsc και DSBsc δεν χρησιμοποιούμε μια διάταξη D-R-C (δίοδο – αντίσταση πυκνωτή) η οποία μας βοηθάει στο να έχουμε μετάθεση συχνότητας (μίξη σημάτων) καθώς θα υπάρχει πρόβλημα ως προς την συμπεριφορά του στην έξοδο, σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα συγχρόνου φωρατή όπως ο παραπάνω. Στην περίπτωση της Αποδιαμόρφωσης διπλής ζώνης με κατεσταλμένο φέρον DSBsc

$$E(t) = s(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$$R(t) = 2 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_r)$$

αρα (3,38)

$$V_{εξ} = s(t) \cdot \Delta\varphi = s(t) / 2$$

Σε αυτή την περίπτωση να τονίσουμε ότι δεν χρειάζεται πυκνωτής αποζεύξεις c καθώς δεν υπάρχει συνεχής συνιστώσα τάσης στην έξοδο. Τώρα στην περίπτωση της σύμφωνης αποδιαμόρφωσης απλής ζώνης με SSBsc

$$E(t) = s_o \cos[(\omega_0 t \pm \Omega)t + \varphi_0]$$

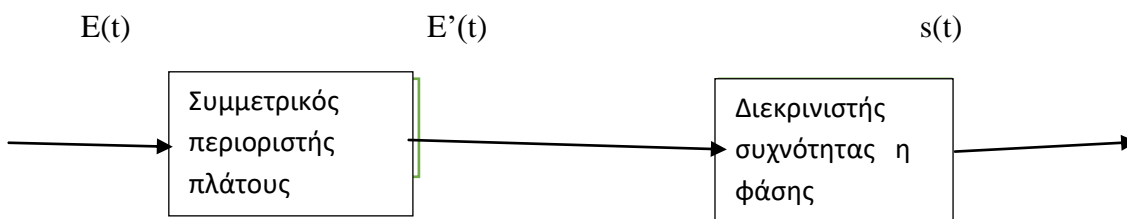
$$V_{εξ} = s_o \cos(\Omega t + \Delta\varphi) = s(t)$$

$$k = \frac{\Delta V}{\Delta f} \sigma\epsilon (\text{Hz} / \text{V}) \quad (3,39)$$

Σε περίπτωση που δεν έχουμε $\varphi_0 = \varphi_r$ τότε δεν θα έχουμε σωστή αποδιαμόρφωση του σήματος, και για την επίτευξη του θα χρειαστεί ένας βρόχος PLL που θα μελετήσουμε παρακατω.

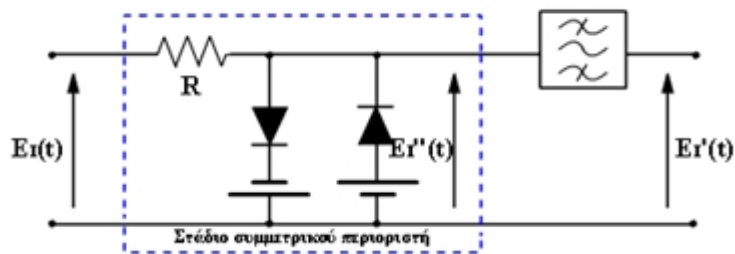
3.5.2 Αποδιαμορφώσεις ορίσματος

Στις διαμορφώσεις ορίσματος δηλαδή (φάσης και συχνότητας) το σήμα μας απεικονίζετε στα χαρακτηριστικά το φέροντος. Στην **αποδιαμόρφωση** η στην **διευκρίνιση συχνότητας η φάσης** η διάταξη τους πρέπει να είναι ευαίσθητη στις μεταβολές τους, για αυτόν τον λόγο καλό θα ήταν πριν την αποδιαμόρφωση να προτεθεί και ένα στάδιο οπού θα σταθεροποιείτε το πλάτους του φέροντος (ένας περιοριστής).



Εικόνα 3.11 –Αποδιαμόρφωση ορίσματος

Η χρησιμότητα αυτό του σταδίου θα μας είναι χρήσιμη , αρχικά για να μην έχουμε στο φέρον παρασιτές διαμορφώσεις πλάτους που οφείλονται κύριος λόγω προσθετικού θορύβου στον τηλεπικοινωνιακό διάλο , η σε μη ελεγχόμενες μεταβολές του κέρδους των διατάξεων που παρεμβάλουν την πορεία του σήματος στην εκπομπή και στην λήψη του σήματος .Σε απλά λογία το φέρον αφού θα έχει απαλλαχθεί από όλα θα έχει καλύτερευση του λόγου σήματος του δεκτή FM ως προς τον θόρυβο ,η αλλού ιδίους βιομηχανικά παράσιτα κάτι τέτοιο δεν μπορεί να γίνει στις διαμορφώσεις πλάτους .Στην έξοδο του περιοριστή το πλάτος του σήματος έχει σταθερό ($E'(t)$), αυτό θα εξυπηρετεί ώστε ο αποδιαμορφωτής να λειτουργεί σωστά και να ζητάει αποκλειστικά την πληροφρία σχετικά με τις μεταβολές πλάτους η φάσης .Αρά πολύ απλά ο περιοριστής βοηθάει στο να απενεργοποιεί το στάδιο αποδιαμόρφωσης από τις μεταβολές του πλάτους .Στην έξοδο του περιοριστή το ημιτονικό φέρον εμφανίζετε με ψαλιδισμό, στις κορυφές του φέροντος σήματος που εισάγει αρμονικές συχνότητες τις οποίες είναι πολύ εύκολο να τις παραλείψουμε απλά χρησιμοποιώντας ένα μεσοπερατό φίλτρο LC. Η διάταξη του περιοριστή είναι ένα τετραπλό που αποτελείτε από αντίθετα πολωμένες διόδους .Στην έξοδο του διατηρεί σταθερό το πλάτος ανεξάρτητα από το πλάτος της τάσης εισοδου



Εικόνα 3.12 – Περιοριστής

3.5.3 Διευκρίνηση συχνότητας

Αποδιαμόρφωση συχνότητας ή διευκρίνηση συχνότητας, , είναι η διαδικασία οπού ο δέκτης εξάγει την πληροφορία από ένα φέρον σήμα, διαμορφωμένο κατά συχνότητα.

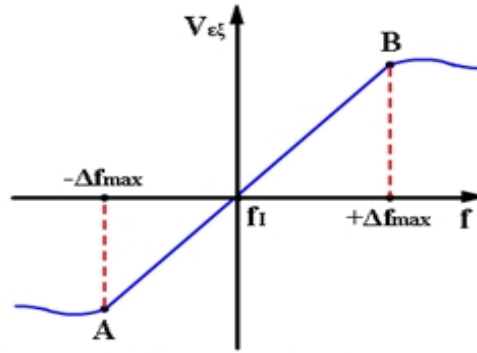
Στη διαμόρφωση FM, ως γνωστόν η πληροφορία επηρεάζει αποκλειστικά τη συχνότητα του φέροντος f_o με βάση τη γραμμική σχέση

$$f(t) = f_o + \Delta f(t) = f_o + k \cdot s(t) \quad (3,40)$$

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείτε μέσω ενός ταλαντωτή VCO. Ο διευκρινιστής συχνότητας πρέπει να είναι γραμμικός καθώς και να μετατρέπει τις μεταβολές συχνότητας του φέροντος σε μεταβολές τάσης .

$$k = \frac{\Delta V}{\Delta f} \sigma \epsilon (Hz / V) \quad (3,41)$$

Οπού k η κληση της χαρακτηριστικής του



Χαρακτηριστική διεκρινισής συχνότητας

Ως απλός διεκρινιστής συχνότητας αξιοποιείται ένα απλό φίλτρο .Τα φίλτρα όπως γνωρίζουμε είναι ευαίσθητες στις μεταβολές συχνότητας ώστε η κεντρική συχνότητα του φέροντος να βρίσκεται περίπου στο μέσο του ανοδικού ή καθοδικού τμήματος της χαρακτηριστικής του. Το φέρον διαμορφωμένο κατά συχνότητα θα μετασχηματιστεί σε φέρον διαμορφωμένο κατά πλάτος . Μετα την μετατροπή αυτή στο τελικό στάδιο χρησιμοποιείτε η κλασική φάραση του αναπτύγματος. Η διάταξη διαφοροποίησης φέροντος θεωρείτε ο ποιο απλός Διεκρινιστής συχνότητας, αν το διαμορφωμένο κατά συχνότητα φέρον $E(t)$

$$E(t) = E_0 \cdot \cos[\omega_0 t + 2\pi \cdot k \cdot \int s(t) \cdot dt] \quad (3,42)$$

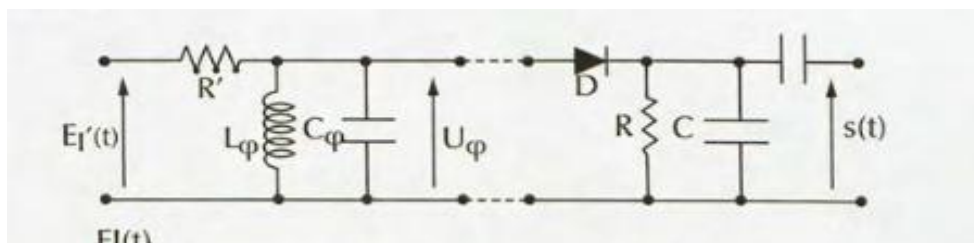
Το πλάτος E_0 του σήματος στην έξοδο του διαφοριστή είναι

$$E_0' = E_0 \cdot [\omega_0 t + 2\pi \cdot k \cdot s(t)] = 2\pi \cdot E_0 \cdot [f_0 + k \cdot s(t)] \quad (3,42)$$

Οπότε η συνάρτηση της μεταφοράς είναι

$$G(f) = 2\pi \cdot f(t) = 2\pi \cdot [f_0 + k \cdot s(t)] \quad (3,43)$$

Στο παρακατω σχήμα οπου διαθέτη φίλτρο διέλευσης ζώνης , διαθέτει κεντρική συχνότητα f_c διάφορη της συχνότητας του φέροντος f_0 . Η απόκριση της είναι γραμμική οπως είδαμε και παραπάνω .



Εικόνα 3.13 – Διάταξη απλού διεκρινιστή

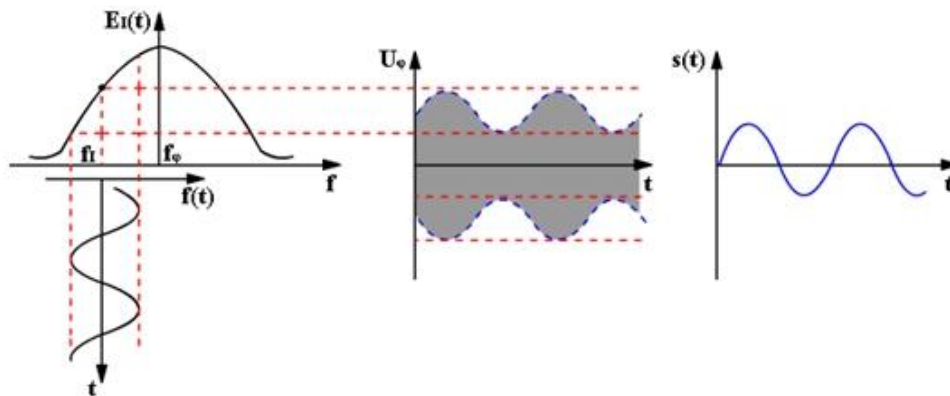
Αν για το κέρδος του φίλτρου στην περιοχή προκύπτει γύρω από την συχνότητα f_0 προκύπτει ότι

$$G(f) = G_o' + \lambda \cdot k \cdot s(t) \quad (3,44)$$

$(\lambda : Hz^{-1})$

Οπού το G' είναι το κέρδος του φιλέτου στην συχνότητα f_o . Στην έξοδο του φιλέτου το πλάτος του φέροντος είναι

$$E_o' = E_o[s(t)] = [G_o' + \lambda \cdot k \cdot s(t)] \cdot E_o \quad (3,45)$$



Εικόνα 3.14 – Κυματομορφή απλού διεκρινιστή

Είναι προφανές ότι με τέτοια διάταξη το διαμορφωμένο φέρον σήμα, του οποίου η συχνότητα παρουσιάζει μεταβολές γύρω από την κεντρική του συχνότητα, μετά την διέλευση του βασικού σήματος από το φίλτρο είναι διαμορφωμένο και κατά πλάτος, όπως χαρακτηριστικά απεικονίζεται στο σχήμα. Στη συνέχεια προσφέρεται ένας απλός φωρατής αναπτύγματος D – R – C, για να έχουμε αποδιαμόρφωση.

Στην πράξη η διάταξη του διεκρινιστή του σχήματος με ένα φίλτρο δεν είναι γραμμικό αυτό είναι ένα βασικό μειονέκτημα, έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν στην έξοδο παραμορφώσεις στο πλάτος του σήματος όταν οι μεταβολές συχνότητας είναι μεγάλες,. Έτσι, η χρήση της διάταξης περιορίζεται σε περιπτώσεις διαμόρφωσης FM με μικρές μεταβολές συχνότητας Δf_{max} , όπου το τμήμα AB της χαρακτηριστικής μπορεί να θεωρηθεί γραμμικό. Το μειονέκτημα αυτό διορθώνεται από συνθετότερες διατάξεις, για παραδειγμα έναν διεκρινιστή Travis .Ο Travis χρησιμοποιείται για την βελτίωση της γραμμικότητας χρησιμοποιώντας 2 φίλτρα LC, ως προς τον τύπο και ποιότητα δομημένα στον δευτερεύων μετασχηματιστή .

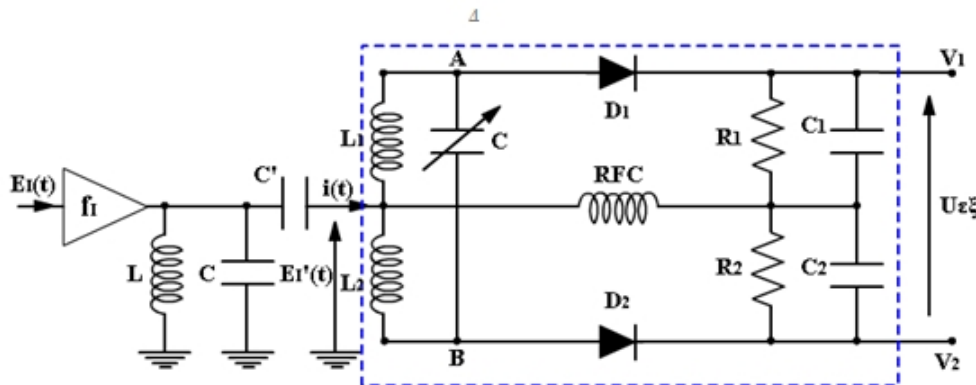
Η χρησιμοποιώντας έναν διεκρινιστή foster selley η αλλιώς διεκρινιστής με διαφοροποίηση φάσης όπου αξιοποιούνται δύο φίλτρα LC με συχνότητα συντονισμού f_o , και δύο φωρατές αναπτύγματος συζευγμένα μέσω της χωρητικότητάς C_o . Το σημείο σύζευξης του δευτέρου συντονιζόμενου κυκλώματος είναι το μέσον της επαγωγής . Τα δύο φίλτρα είναι δομημένα με τον ίδιο πυκνωτή C και λειτουργούν με διαφορά φάσης $\pi/2$.Η μη γραμμικότητα του ενός αντισταθμίζεται

από τη μη γραμμικότητα του άλλου. Η χαρακτηριστική του αποδιαμορφωτή εκτείνεται σε ευρύτερη,. Το ωφέλιμο σήμα θα είναι η διαφορά των σημάτων V1 και V2 που προκύπτουν στις εξόδους των δύο φωρατών αναπτύγματος. Στην έξοδο του οριοθετείται από δυο ανεξάρτητους φωρατές αναπτύγματος D-R-C. Ο συνδυασμός των φίλτρων θα συντονίζει το κύκλωμα στην κεντρική συχνότητα του φέροντος (f_0).

Για τη συχνότητα f_0 τα διανύσματα τάσης V1 που αντιπροσωπεύει την τάση $v_1(t)$ και ρεύματος I1 είναι συμφασικά και τάσεις εξόδου αντιπροσωπεύονται από διανύσματα κάθετα στο ρεύμα και αντίθετα μεταξύ τους. Αποτέλεσμα, τα διανύσματα v_{V1} και V2 (που αντιπροσωπεύει επίσης την τάση $V_2(t)$ είναι ίσες και τελικά το σήμα εξόδου

$$s(t) = V1 - V2 = 0. \quad (3,46)$$

Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση τα διανύσματα ρεύματος και τάσης παρουσιάζουν διαφορά φάσης $\pi/2$.Το συμπέρασμα είναι ότι Οι μεταβολές συχνότητας απεικονίζονται στη διαφορά των τάσεων V1 και V2. Η τάση στην έξοδο είναι ανάλογη προς τις μεταβολές της συχνότητας.

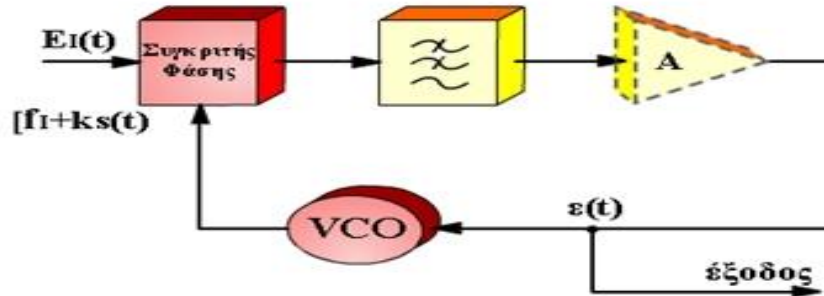


Εικόνα 3.15 - Διευκρινιστής foster selley

3.5.4 Άλλες διαμορφώσεις που χρησιμοποιούνται στην FM ραδιοφωνία

- **PLL** είναι ένας διευκρινιστής με βρόχος φάσης . είναι ο πιο δημοφιλής που χρησιμοποιείτε για την αποδιαμόρφωση FM. Αυτή την αποδιαμόρφωση χρησιμοποιεί και ο δικός μας δέκτης όπως θα δούμε και στο επόμενο κεφάλαιο . Το PLL είναι ένας βρόχος ανατροφοδότησης όπου γίνεται σύγκριση της φάσης στην έξοδο, με τη φάση στην είσοδο. Αυτή γίνεται από έναν ασύγκριτη φάσης PLL . Το γενικό διάγραμμα του αποδιαμορφωτή φαίνεται παρακατω .Έχουμε σύγκριση της συχνότητα του σήματος εισόδου με τη συχνότητα του VCO ($f=vco$), που είναι υπολογισμένος με κεντρική συχνότητα f_0 ίδια με του φέροντος . Αν εφαρμόσουμε στην είσοδο του βρόχου φάσης ένα διαμορφωμένο φέρον $E(t)$, στον ρολό της συχνότητας αναφοράς βρίσκεται η συχνότητα $f(t)$. ο PLL όταν κάνει αυτή την διαδικασία δημιουργεί τάση ελέγχου VCO ,προσπαθεί να τον συγχρονίσει στη συχνότητα του σήματος εισόδου αντιπροσωπεύει τις μεταβολές της συχνότητας του, δηλαδή το βασικό σήμα $s(t)$. Αν ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής της $f(t)$ δηλαδή η συχνότητα f_{max}

του βασικού σήματος είναι μικρότερος της συχνότητας αποκοπής του βρόχου PLL, τότε έχουμε γραμμικότητα μετα την αποδιαμόρφωση. Το σήμα $s(t)$ θα υποστεί αποέμφαση, δηλαδή την αντίστροφη διαδικασία της έμφασης που χρησιμοποιείται στο πομπό που μελετήσαμε παραπάνω, αν προσθέσουμε Χαμηλοπερατό φίλτρο θα αποκατασταθεί η φασματική φυσιογνωμία του σήματος, πριν την τελική του ενίσχυση από τους ενισχυτές χαμηλών συχνοτήτων.



Εικόνα 3.16 –PLL

- **Διευκρινιστής συχνότητας με αλλαγή φάσης** πρόκειται για μια παραλλαγή του συμφώνου αποδιαμορφωτή, η διαδικασία που εφαρμόζει είναι το διαμορφωμένο φέρον FM πολλαπλασιάζεται με τον εαυτό του, μέσω 2 δρόμων που υποστεί ολίσθηση φάσης $(-\pi/2)$. Η ολίσθηση φάσης $(-\pi/2)$ αντιστοιχεί στην κεντρική συχνότητα φέροντος. Καθώς η συχνότητα μεταβάλλεται, η στιγμιαία ολίσθηση φάσης μεταβάλλεται επίσης και είναι $(-\pi/2 + \Delta\phi)$. Αν υποθέσουμε ότι η διαφοροποίηση της φάσης $\Delta\phi$ είναι ανάλογη προς τις μεταβολές κυκλικής συχνότητας και θεωρείται γραμμική συνάρτηση

$$\Delta\phi = \lambda \cdot [\omega(t) - \omega_0]$$

Αν $\omega(t) = \omega_0$

$$\Delta\phi = 2\pi \cdot \lambda \cdot k \cdot s(t). \quad (3,47)$$

Και

$$E(t) = E_0 \cdot \cos[\omega_0 t + 2\pi \cdot k \int s(t) dt]$$

- **Αποδιαμόρφωση στερεοφωνικού σήματος**. Είναι ένα είδος αποδιαμορφωτή οπύ διαχωρίζει το διαμορφωμένο σήμα μέσω 3^{ων} φίλτρων, αφού πρώτα έχει υποστεί αρχικά το στάδιο της αποδιαμορφώσεως FM, για να διαχωριστεί σε φασματικές περιοχές στην έξοδο του οποίου θα διατίθεται το multiplex σήμα $s(t)$.
 1. Στην 1^η έξοδο του Χαμηλοπερατού φίλτρου θα εμφανίζετε το σήμα $s_1(t) = a(t) + \delta(t)$
 2. Στην έξοδο του φίλτρου θα εμφανίζετε ένα σήμα s_2 το οποίο θα είναι υποφέρον DSBsc, για να προκύψει στην συνέχεια στην έξοδο του σήμα $s_2(t) = a(t) - \delta(t)$ αφού πρώτα έχει υποστεί σύμφωνη φάραση, κατά την διάρκεια της αποδιαμόρφωσης, προσδέθηκε φασματική συνιστώσα, για να διευκολύνει την αποδιαμόρφωση. Αν προστεθούν τα σήματα $s_1 + s_2$ στην έξοδο τότε θα προκύψουν τα ανεξάρτητα σήματα $a(t)$ και $\delta(t)$. Εδώ να τονίσουμε ότι αν έχουμε μονοφασικό δεκτή, θα έχει ως μοναδικό το σήμα $s_1(t)$ που προκύπτει από την αποδιαμόρφωση FM.

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Περιγραφή Υλισμικού του Συστήματος

Εδώ τα 2 βασικά κυκλώματα που χρησιμοποιήσαμε για το σύστημα μας είναι ένας μικροελεγκτής Arduino Nano και ένας FM δέκτης TEA5767hn

ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ ARDUINO

4.1 ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ

4.1.1 Εισαγωγή στους μικροελεγκτές

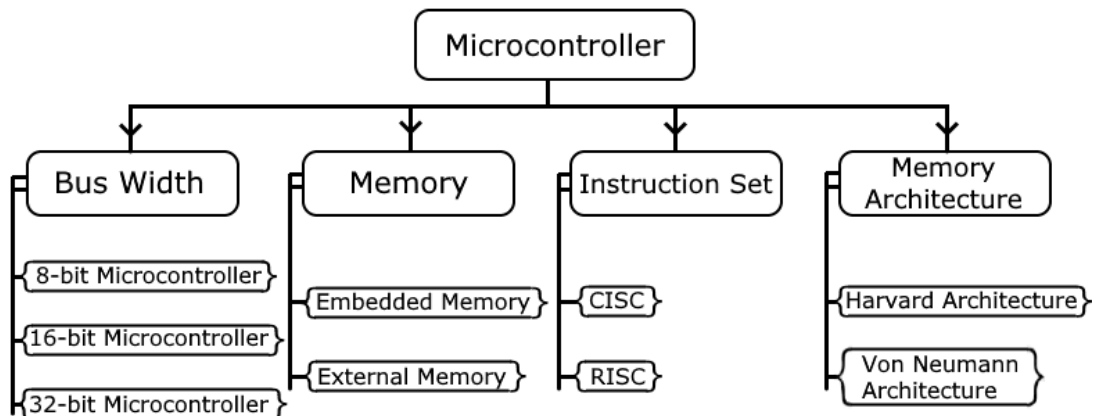
Μικροελεγκτής είναι ένα προγραμματιζόμενο ολοκληρωμένο κύκλωμα του οποίου η λειτουργία μπορεί να πραγματοποιηθεί με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα λόγω των πολλών υποσυστημάτων που διαθέτει. Θα μπορούμε να πούμε ότι ο μικροελεγκτής είναι ένας μικροϋπολογιστής ο οποίος διαθέτει επεξεργαστή η αλλιώς **cpu** στην οποία εκτελούνται τα προγράμματα, **μνήμη** στην οποία αποθηκεύονται και ανανεώνονται κατά την εκτέλεση του προγράμματος οι διάφορες μεταβλητές, **θύρες εισόδου/εξόδου** για επικοινωνία με εξωτερικές συσκευές με τους χρήστες, **διάφορα περιφερειακά κυκλώματα κλπ.** Οι μικροελεγκτές μπορούν να καλύψουν άπειρο φάσμα εφαρμογών την σήμερα ημέρα όπως είναι , βιομηχανικοί αυτοματισμοί , συστήματα τηλεπικοινωνιών, ρομποτική, εφαρμογές δικτύων , ηλεκτρονικές & ηλεκτρικές συσκευές κ.α.

Το πρόγραμμα που εκτελεί ο μικροελεγκτής αποθηκεύεται μόνιμα στη μνήμη προγράμματος. Ο μικροελεγκτής έχει την δυνατότητα να εκτελεί διάφορα προγράμματα καθώς και να διαθέτει επεξεργαστή, περιφερειακές συσκευές, και μνήμη όπως ακριβώς και ένας μικροϋπολογιστής και μάλιστα όλα αυτά τα έχει ενσωματώσει σε ένα chip .

Όπως αναφέραμε και παραπάνω ο μικροελεγκτής μοιάζει αρκετά με τους σύγχρονους υπολογιστές αλλά υπάρχουν κάποιες διαφορές που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι υπέρ του μικροελεγκτή . Στα βασικά θετικά του χαρακτηριακά είναι αρχικά ότι καταναλώνουν α) πολύ λιγότερη ισχύ , μόλις μερικές 10δες mW σε αντίθεση με τους απλούς υπολογιστές οι οποίοι καταναλώνουν δεκάδες - εκατοντάδες W αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω ότι λειτουργούν σε μικρές συχνότητες έως 32 KHz , ενώ έχουν την δυνατότητα να μπουν και σε κατάσταση αναμονής , β) χαμηλότερο κόστος , γ) Μικρότερο μέγεθος διότι είναι ενσωματωμένα όλα τα εξαρτήματα πάνω σε ένα chip, δ) αυτονομία λόγω της ενσωμάτωσης σύνθετων περιφερειακών υποσυστημάτων όπως μνήμες και θύρες επικοινωνίας, ε) Μειωμένες εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών από εξωτερικές συσκευές , στ) Επίτευξη ελέγχου ή μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο , αυτό συμβαίνει διότι δεν χρειάζεται επιπλέον λογισμικό . ζ) περισσότεροι διαθέσιμοι ακροδέκτες για ψηφιακές εισόδους-εξόδους. Όπως όμως αναφέραμε υπάρχουν και κάποια αρνητικά που έχουν τα συγκεκριμένα κυκλώματα σε σχέση με τους υπολογιστές τα κυρία μειονεκτήματα είναι α)περιορισμένη μνήμη

της τάξης μερικών Kbytes τα οποία όμως αρκούν για τις περισσότερες λειτουργίες που εφαρμόζει ο μικροελεγκτής, επίσης δεν διαθέτει σκληρό δίσκο ,β) μικρότερη ταχύτητα επεξεργασίας δεδομένων, γ)δυσκολία στον προγραμματισμό του, δ) Έχει μεγάλο χρόνο ανάπτυξης. Για να ολοκληρωθεί ένα προϊόν μπορεί να απαιτηθεί από 1 εβδομάδα μέχρι 1 χρόνο .

Η πρώτη εταιρεία που δημιούργησε τον μικροελεγκτή ήταν η intel το 1971 με την ονομασία intel 4004 οπότε ήταν ένας 4bitος επεξεργαστής με μνήμη στα 640byte ο οποίος αποτελούνταν από 2.300 τρανζίστορ με συχνότητα ρολογιού 108KHz, εκτελούσε περίπου 60.000 πράξεις το δευτερόλεπτο. Αργότερα ακολουθήσαν και άλλες εταιρείες την παραγωγή τέτοιων τσιπ. Αυτές είναι , η Atmel, Microchip, η Motorola μέσω της Freescale siconducton , Hitachi, Toshiba, National Semiconductor, NEC, Epson κ.α. Από αυτές το μεγαλύτερο κομμάτι της αγοράς το έχει η intel, η atmel, και η microship, Οι δύο τελευταίες έχουν έχουν τόσο μεγάλη απήχηση στην αγορά ,κατά κύριο λόγο επειδή διαθέτουν την μνήμη flash. Ενώ την microchip την χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο κομπιαστές λόγω ότι διαθέτουν πολύ φτηνούς μικροελεγκτές . Οι μικροελεγκτές ταξινομούνται αναλόγως, το εύρος διαύλου, το σετ εντολών, την αρχιτεκτονική μνήμης, την γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται βλέπουμε την παρακατω εικόνα



Types of Microcontroller

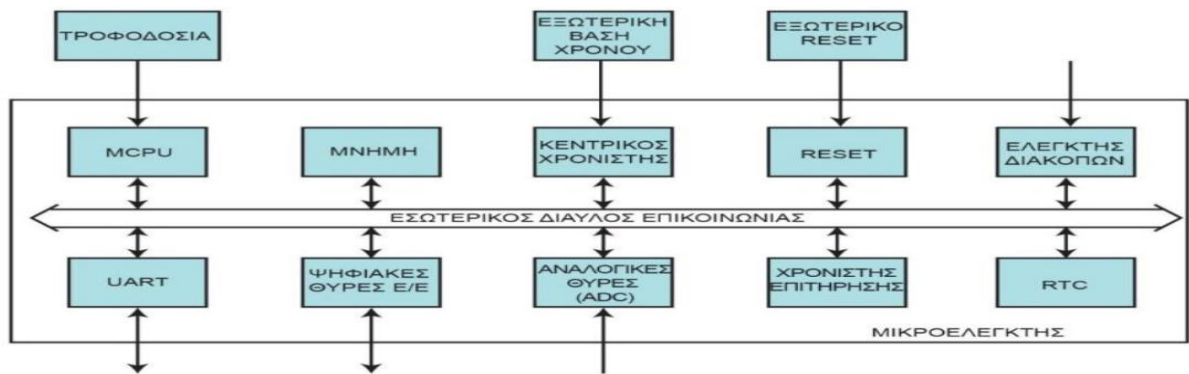
Εικόνα 4.1 –Τύποι μικροελεγκτή

4.1.2 Δομή μικροελεγκτή

Όπως αναφέραμε παραπάνω ο μικροελεγκτής αποτελείται από τις παρακατω λειτουργικές μονάδες που αποτελείται ο μικροελεγκτής

- CPU:Πρόκειται για την κεντρική μονάδα επεξεργασίας του μικροελεγκτή .Εκει εκτελούνται οι εντολές του προγράμματος , ανάλογα τον τύπο της αρχιτεκτονικής επιλεγεί και την γλώσσα προγραμματισμού συνήθως είναι σε C η σε assembly .Για να λειτουργήσει ορθά χρειάζεται να υπάρχουν καταχωρητές χρήσεων , αριθμητικής και λογικής μονάδας .
- Μνήμη :εδώ μαζεύει τα προγράμματα και τα δεδομένα, οι ποιο γνωστοί τύποι μνήμων είναι (EEPROM , Flash, RAM)
- Κεντρικός χρονιστής : Η εκτέλεση των εντολών του προγράμματος αλλά και ο συντονισμός διάφορων εσωτερικών διαδικασιών για την λειτουργία του μικροελεγκτής, γίνεται με ένα κοινό σήμα ρολογιού που παράγει ένας χρονιστής (ταλαντωτής)

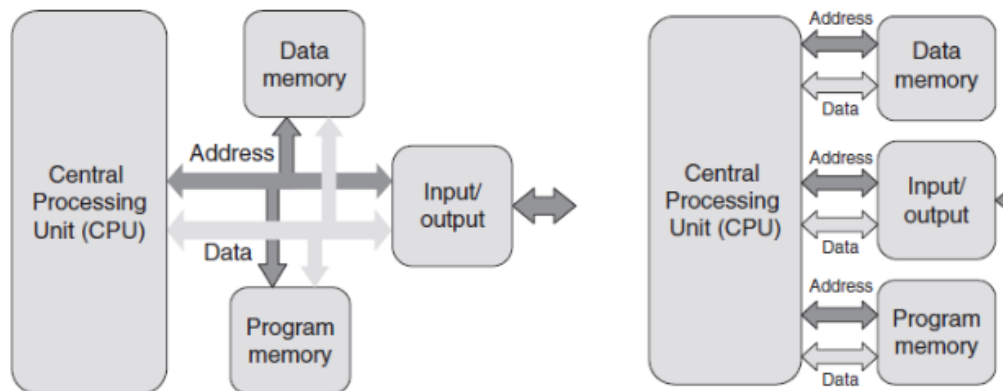
- Reset : επαναφορά λειτουργίας
- Ελεγκτής διακοπών : γίνεται διαχείριση των εξωτερικών γεγονότων, διακόπτοντας ταυτόχρονα την ροή εκτέλεσης του κυρίου προγράμματος.
- UART: είναι μια ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία η οποία χρησιμοποιείται για έλεγχο εξωτερικών συσκευών και την ανταλλαγή δεδομένων.
- Ψηφιακές θύρες εισόδου εξόδου : αναγνωρίζουν και παράγουν μόνο ψηφιακά σήματα – σήματα στάθμης 0 η 5 Volt
- Αναλογικές θύρες (μονάδα ADC): είναι ένας μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ,διαβάζει απευθείας τις αναλογικές τάσης στο διάστημα 0-5 vol, το ψηφιακό σήμα που προκύπτει εκφράζεται σε bit.
- Χρονιστής επιτήρησης : χρησιμοποιείται όταν η εφαρμογή αντιμετωπίσει πρόβλημα πχ κόλλημα προγράμματος η αισθητήρα , αυτός ο χρονικής επιτηρητής μηδενίζει το πρόγραμμα ανά τακτά χρονικά σημεία,
- PTC : μας δίνει πληροφορίες για την τρέχουσα ημερόβια και ώρα .



Εικόνα 4.2 -Δομή μικροελεγκτή

4.2 AVR μικροελεγκτές – αρχιτεκτονικές επεξεργαστών

Στους μικροελεγκτές υπάρχουν κυρίως δύο κατηγορίες αρχιτεκτονικής επεξεργαστών, με αρχιτεκτονική Von-Neumann κ Harvard. Οι διαφορές τους είναι δύο, η 1^η είναι ως προς την θέση αποθήκευσης των εντολών και των δεδομένων του προγράμματος. Οπού στην Von Neumann αρχιτεκτονική είναι ενσωματωμένες στο ίδιο σύστημα μνήμης, σε αντίθεση με την Harvard που είναι σε διαφορετικό. Η 2^η διαφορά τους είναι ως προς την διευθυνσιοδότηση όπου στην Von-Neumann ή κάθε διεύθυνση αναφέρεται είτε σε εντολή, είτε σε δεδομένα καταλαμβάνουν τον ίδιο χώρο διευθύνσεων, σε αντίθεση με την Harvard αρχιτεκτονική, όπου εκεί υπάρχουν δύο διαφορετικοί χώροι διευθύνσεων. Εμείς σε αυτό το project θα ασχοληθούμε με την αρχιτεκτονική Harvard την οποία χρησιμοποιούν οι μικροελεγκτές της σειράς ATmega.



Εικόνα 4.3 -αρχιτεκτονική Von-Neumann

αρχιτεκτονική Harvard

4.2.1 Harvard αρχιτεκτονική

Η Harvard αρχιτεκτονική πήρε το όνομά της από τον "Harvard Mark I" έναν παλιό υπολογιστή. Όπως αναφέραμε ο Harvard αρχιτεκτονική έχει διαφορετικό δίαυλο για την μεταφορά δεδομένων και των εντολών, ενώ υπάρχουν και 2 διαφορετικές μνήμες, η μνήμη προγράμματος και η μνήμη δεδομένων. Στην Harvard Επιτρέπονται οι εντολές να έχουν διαφορετικό μήκος από τα δεδομένα ανάλογα με το πλήθος των εντολών επίσης Επιτρέπει την επικάλυψη λειτουργιών ανάκλησης εντολής, ανάγνωσης και εγγραφής των δεδομένων, εκτέλεσης εντολών. Ο ξεχωριστός δίαυλος για τα δεδομένα και για τις εντολές, επιτρέπει την παράλληλη προσπέλαση.

4.2.2 RISC και CISC αρχιτεκτονική

Μια άλλη σημαντική διάκριση που γίνεται στην αρχιτεκτονική ενός υπολογιστικού συστήματος σχετίζεται με το σύνολο εντολών. Υπάρχουν δύο κατηγορίες, η αρχιτεκτονική περιορισμένου συνόλου εντολών (RISC) η οποία ακολουθείται στην περίπτωση μας και η αρχιτεκτονική σύνθετου συνόλου εντολών (CISC) Η διαφορά τους βρίσκεται στη δυνατότητα των διαθέσιμων εντολών.

1. Η **CISC** αρχιτεκτονική ήταν από τις προαναφερόμενες, η πρώτη αρχιτεκτονική που δημιουργήθηκε χρονολογικά, περιέχει ένα σύνολο οδηγιών – εντολών. Η CISC δημιουργήθηκε στόχο να υπολογίζει πολύπλοκες εντολές με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο, στην CISC αυτό υλοποιείτε εφαρμόζοντας σύντομες εντολές για να υπολογίσουμε πολύπλοκες εντολές. Υπάρχουν εντολές που πραγματοποιούν περισσότερες από μία

στοιχειώδη ενέργεια σε ένα βήμα, πχ, φόρτωση από την μνήμη – πρόσθεση – αποθήκευση στην μνήμη.

2. Η **RISC** είναι πιο πρόσφατη αρχιτεκτονική, σε σύγκριση με την **CISC** είναι ταχύτερη και πιο αποτελεσματική, Ο ρόλος είναι να πραγματοποιεί τις διαδικασίες υπολογιστών που δίνονται από τον υπολογιστή, χρησιμοποιώντας όσο δυνατόν λιγότερες εντολές. Στην **RISC** αρχιτεκτονική το μήκος όλων των εντολών είναι σταθερό πχ, 4 bytes. Άρα αν στην προηγούμενη περίπτωση ήθελε να εκτελεστεί από μία πολύπλοκη εντολή 8 bytes σε 8 κύκλους(περιόδους) ρολογιού, Στην **RISC** επεξεργαστή μπορεί να εκτελεστεί από δύο απλούστερες εντολές των δύο bytes, που κάθε μία εκτελείται σε έναν ή δύο κύκλους ρολογιού Όλα αυτά οφείλονται στο ότι ο αριθμός των καταχωρητών στους οποίους αποθηκεύονται τα αποτελέσματα πράξεων είναι πολύ μεγαλύτερος από εκείνους των **CISC**. Ωστόσο δεν είναι μόνο αυτά τα θετικά του **RISC**, αλλά και τα κυκλώματα ήταν επίσης μικρότερα και Φτηνότερο το κόστος κατασκευής τους. Επίσης απαιτείται επιφάνεια πυριτίου λόγω των απλούστερων λειτουργικών μονάδων, επιτρέπει την αύξηση των διαθέσιμων καταχωριστών, πράγμα που διευκολύνει τόσο τον προγραμματισμό, όσο και την διαδικασία παραγωγής κώδικά.

4.2.3 AVR μικροελεγκτής.

ο AVR ο οποίος έχει δημιουργηθεί με βάση την αρχιτεκτονική Harvard RISC 8bit από την εταιρεία Atmel. Η AVR επινοήθηκε από δύο φοιτητές που σπούδαζαν στο Νορβηγικό Ινστιτούτο Τεχνολογίας (NTH), τους Alf-Bogen Egil και Vegard Wollan. Η Εταιρεία Atmel οπύ παράγει αυτούς τους μικροελεγκτές, δεν έχουν δώσει καμία απάντηση ως προς το τι σημαίνει η ονομασία "AVR". Ωστόσο, το πιο πιθανόν είναι να βγαίνει από τα αρχικά των ονομάτων των δημιουργών του και την αρχιτεκτονική RISC.

Η AVR ήταν μια από τις πρώτες οικογένειες μικροελεγκτών που χρησιμοποίησε την τεχνολογία μνήμης τύπου για την αποθήκευση του προγράμματος σε αντίθεση από άλλους μικροελεγκτές που χρησιμοποιούσαν προγραμματιζόμενες μνήμες(ROM, EPROM, EEPROM κλπ.)., ο μικροελεγκτής AVR περιλαμβάνει έναν επεξεργαστή RISC και η μονάδα CPU όπως είπαμε και παραπάνω μπορεί να πραγματοποιήσει ταυτόχρονα και ξεχωριστά, μία μνήμη προγράμματος (program memory) και μία ξεχωριστή μνήμη δεδομένων (data memory). Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η εκτέλεση της εντολής σε ένα μόνο χρόνο μηχανής.

Οι μικροελεγκτές AVR της ATMEL διαθέτουν κάποια χαρακτηριστικά τα βασικά από αυτά είναι

1. Συνδυάζουν την αρχιτεκτονική RISC με σταθερού μήκους εντολές, διαδικασίες αποθήκευσης – φόρτωσης στη μνήμη και 32 καταχωρητές γενικής χρήσης.
2. Διαθέτουν μηχανισμό συνεχούς διοχέτευσης εντολών σε δύο στάδια, που επιταχύνουν σημαντικά τη διαδικασία εκτέλεσης.
3. Περισσότερες από τις εντολές εκτελούνται στη διάρκεια μιας περιόδου(ενός κύκλους) του ρολογιού.
4. Έχουν συχνότητα συντονισμού 10MHz
5. Ενσωματωμένες μνήμες προγράμματος και δεδομένων
6. Δυνατότητα προγραμματισμού εντός του συστήματος
7. Διαθέτουν πόλους ακροδέκτες(pin), από 8 έως 64 οπότε είναι κατάλληλοι για μεγάλο αριθμό διαφορετικών εφαρμογών

8. Είναι περίπου 12 φορές πιο γρήγοροι και αποδοτικοί από τους ελεγκτές κλασικής αρχιτεκτονικής CICS
9. Έχουν τάση λειτουργίας 2,7-6V
10. Διαθέτουν Αρκετές ενσωματωμένες περιφερειακές μονάδες, (ψηφιακές εισόδους – εξόδους (I/O),μετατροπέα ADC,μνήμη EEPROM, SRAM,ρολόγια πραγματικού χρόνου (RTC) χρονισμού και άλλα .

Οι AVR μικροελεγκτές χωρίζονται σε είδη με διαφορετικές ιδιότητες ο καθένας. Καταρχήν όλοι τους με είναι 8bit, οπότε είναι η λειτουργία των δεδομένων στην CPU ανά φορά ,με εξαίρεση τον AVR32, ο οποίος είναι 32bit,Όταν τα δεδομένα είναι μεγαλύτερα από 8bit θα σπάσουν σε κομμάτια των 8-bit ώστε να υποβληθούν σε επεξεργασία από την CPU του μικροελεγκτή.

4.2.4 Είδη μικροελεγκτών

Υπάρχουν 4 είδη AVR μικροελεγκτών, αυτοί είναι tinyAVR, megaAVR, XMEGA, , 32-bit AVRs. Τα τσιπ της σειράς AVR, στο όνομα τους αναφέρονται στο μέγεθος της μνήμης Flash τα 2 πρώτα νούμερα . Δηλαδή, ο διαθέσιμος χώρος που έχουμε για το πρόγραμμα μας ,μπορεί να είναι από 1KB έως 32KB. Για παραδειγμα ένας ATmega328,εχει 32KB μνήμη flash , ο Atmega2560, ο θα έχει 256 KB μνήμη flash κλπ. Υπάρχουν κάποιες διάφορες στα χαρακτηριστικά του κάθε μικροελεγκτή .Στους tinyAVR μικροελεγκτές υπάρχει μικρότερος αριθμός ακροδεκτών ή περιορισμένες δυνατότητες σε σχέση με τους megaAVR's . Όλοι οι AVR έχουν ο ίδιο ρεπερτόριο εντολών (και οργάνωση μνήμης έτσι ώστε να διευκολύνεται η αλλαγή του μικροελεγκτή μιας εφαρμογής όταν αυτό απαιτηθεί. . Όλοι οι AVR μικροελεγκτές έχουν την ίδια μονάδα κεντρικής επεξεργασίας (AVR Core).

Την επιλογή των AVR την κάνουμε με βάση των εφαρμογών που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε δηλαδή αν θέλουμε έναν για απλές χρήσεις πρέπει να διαλέξουμε αυτόν με τα λιγότερα περιφερειακά που ικανοποιεί τις ανάγκες της εφαρμογής οπότε θα ρίξει το κόστος πχ tinyAVR . Αν όμως θέλουμε πιο περίπλοκες εφαρμογές και δεν μας νοιάζει το κόστος θα χρησιμοποιήσουμε κάποιον με περισσότερες δυνατότητες ,ώστε να μπορέσουμε στο μέλλον να βελτιώσουμε ευκολότερα τα χαρακτηριστικά της εφαρμογής πχ MEGA AVR .Παρακατω βλέπουμε τα είδη τον μικροελεγκτών

- ATtiny. Αυτή η οικογένεια των AVR χρησιμοποιούνται για συστήματα μικρού κόστους και περιορισμένων δυνατοτήτων. Είναι χρήσιμες για εφαρμογές που απαιτούν ευκολία στη χρήση απόδοση καθώς και εξοικονόμηση ενέργειας τέλος αυτά τα είδη μικροελεγκτών έχουν μικρότερο ρεπερτόριο εντολών σε σχέση με τους μικροελεγκτές ATmega. Διαθέτουν περιορισμένα περιφερειακά υποκυκλώματα , μνήμη προγράμματος 1-8KByte , flash memory 0.5-16KByte , και διαθέτει από 8-28pins ακροδέκτες
- ATmega είναι η κατηγορία την οποία χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο τα arduino , γιαυτο τον λόγο θα τον χρησιμοποιήσουμε και εμείς στην δικιά μας περίπτωση. Οι μικροελεγκτές ATmega είναι η ιδανική επιλογή για εφαρμογές που χρησιμοποιούν πολλές γραμμές κώδικα προγραμματισμού(πολλαπλές εντολές) επειδή, προσφέρουν σημαντικές μνήμες προγραμμάτων και δεδομένων με αρκετά μεγάλη απόδοση . Επίσης έχει πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας . Αυτός ο είδος μικροελεγκτή υποστηρίζει μέχρι 120 εντολές και διαθέτουν πολλά περιφερειακά κυκλώματα. χρησιμοποιεί μνήμη FLASH 4 -256kΒκαι διατίθεται στο εμπόριο σε συσκευασίες από και διαθέτει 28 έως 100 pins
- ATXmega . αυτή η κατηγορία διαθέτει το καλύτερο δυνατό συνδυασμό απόδοσης σε πραγματικό χρόνο, υψηλής ενσωμάτωσης καθώς και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Ο

ATxmega, διαθέτει μεγαλύτερη εσωτερική μνήμη Flash 16-384kB και διαθέτουν περισσότερους ακροδέκτες (από 44 έως και 100 pins) . έχουν Εκτεταμένα χαρακτηριστικά επιδόσεων, όπως η DMA και υποστήριξη κρυπτογράφησης καθώς ,και Εκτεταμένο σετ εντολών χειρισμού περιφερειακών και DAC.

Υπάρχει και άλλη μια ομάδα τύπου mega όπου ονομάζεται σειρά application specific avr όπου είναι υποκατηγορίες των παραπάνω μικροελεγκτών . Ένα θετικό της σειράς ATmega είναι ότι διαθέτει κάποια εξαρτήματα που δεν υπάρχουν στα άλλα είδη AVR μικροελεγκτών για ειδικές εφαρμογές , όπως

ελεγκτή οθόνης LCD, ελεγκτή USB, προηγμένη θύρα PWM, κ.α.

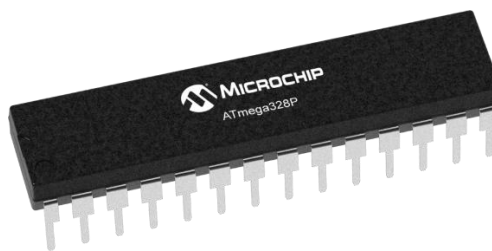
- 32bitAVR όπως γνωρίζουμε οι πλειοψηφία των AVR είναι 8 bit , αλλά το 2006 η εταιρεία αποφάσισε να κυκλοφορήσει μικροελεγκτές των 32bit, οι οποίοι περιλαμβάνουν σύστημα με απλή εντολή πολλαπλών δεδομένων-εντολών SIMD (Single Instruction Multiple Data) και ψηφιακό σήμα επεξεργασίας με ονομασία DSP (Digital Signal Processing), καθώς και επεξεργασία βίντεο και ήχου . Αυτή η οικογένεια των 32bit σχεδιάστηκε για να ανταγωνιστεί με τους επεξεργαστές ARM. Ο 32-bit μικροελεγκτής πηγαίνει την αποδοτικότητα σε ένα νέο επίπεδο, καθώς εκτός από όλα τα χαρακτηριστικά που διαθέτουν οι μικροελεγκτές , διαθέτει σταθερό σημείο στήριξης DSP, διπλή είσοδο SRAM, πολλαπλών επιπέδων μεταφορά δεδομένων, περιφερική ελεγκτή DMA και ευφυή περιφερειακά. Όλα τα παραπάνω χρησιμεύουν για εφαρμογές υψηλής απόδοσης καθώς και επιλέγονται για φορητές συσκευές .

Όλους αυτούς τους μικροελεγκτές Atmel που είδαμε παραπάνω ,τους χρησιμοποιούμε σε συσκευές ραδιοσυχνότητας RF, σε WiFi, σε μνήμες τύπου EEPROM, σε συσκευές μνήμης Flash, σε συμμετρικά και ασύμμετρα ολοκληρωμένα ασφαλείας, σε αισθητήρες και ελεγκτές για την εφαρμογή ειδικών προϊόντων . Ακόμη, εξυπηρετεί εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των τηλεπικοινωνιών, στα δίκτυα υπολογιστών , στην βιομηχανία, σε ιατρικές εφαρμογές κ.α. .Κάτω βλέπουμε έναν πίνακα με κάποιους μικροελεγκτές.

ATtiny10, ATtiny9 ATtiny5, ATtiny4, ATtiny84, ATtiny44, ATtiny24, ATtiny85, ATtiny45, ATtiny25, ATtiny2313, ATtiny88, ATTINY861, ATTINY461, ATTINY261, ATTINY26, ATtiny15, ATtiny13, ATtiny12, ATtiny11
ATXMEGA128A4, ATXMEGA64A4, ATXMEGA32A4, ATXMEGA16A4, ATXMEGA256A3B, ATXMEGA256A3, ATXMEGA192A3, ATXMEGA128A3, ATXMEGA64A3, ATXMEGA256A1, ATXMEGA192A1, ATXMEGA128A1REVD, ATXMEGA128A1, ATXMEGA64A1
ATMEGA6450, ATMEGA3250, ATMEGA645, ATMEGA325, ATmega32U4, ATMEGA128RFA1, ATMEGA2561, ATMEGA2560, ATMEGA1281, ATMEGA1280, ATMEGA640, ATMEGA328P, , ATMEGA168, ATMEGA88, ATMEGA48, ATMEGA8535, ATMEGA8515, ATMEGA8, ATMEGA161, ATMEGA32, ATMEGA6490, ATMEGA649, ATMEGA3290P, ATMEGA3290, ATMEGA329P, ATMEGA329, ATMEGA169, ATMEGA163, ATMEGA162, ATMEGA1284P, ATMEGA644P, ATMEGA644, ATMEGA324P ATMEGA164P ATMEGA16, ATMEGA128, ATMEGA64, ATMEGA103
AT90USB82, AT90USB162, AT90USB1287, AT90USB1286, AT90USB647, AT90USB646, AT90PWM3B, AT90PWM2B, AT90PWM3, AT90PWM2, AT90CAN32 AT90CAN64 AT90CAN128, AT90S8535, AT90S8515, AT90S4434, AT90S4433, AT90S2343, AT90S2333, AT90S2313, AT90S4414, AT90S1200

Πίνακας 4.1 Μικροελεγκτές AVR

4.3 ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ ATMEGA328P



Εικόνα 4.4 – μικροελεγκτής Atmega328 p

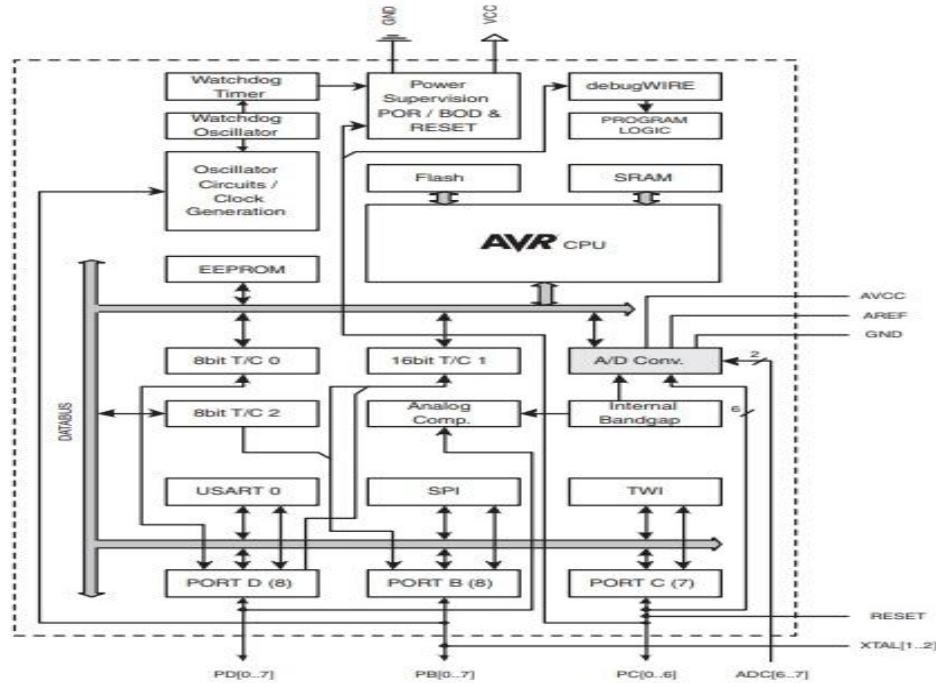
4.3.1 Εισαγωγή

Ο μικροελεγκτής ATmega328P είναι το είδος μικροελεγκτή που χρησιμοποιείται, κυρίως σε πλατφόρμες arduino όπως στην δικιά μας περίπτωση. Βασίζεται στην αρχιτεκτονική RISC. Εκτελώντας ισχυρές εντολές σε έναν απλό κύκλο ρολογιού, ο ATmega328P επιτυγχάνει διαμεταγωγή, 1 MIPS/MHz, και εξοικονομεί έτσι την κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με την ταχύτητα επεξεργασίας. ο ATmega328P υποστηρίζει ένα πλήρες σετ εργαλείων ανάπτυξης προγραμματισμού, όπως είναι οι μεταγλωττιστές της C, macro assemblers, προγράμματα εντοπισμού σφαλμάτων και προσομοίωσης κ.α.

Ο πυρήνας του μικροελεγκτή AVRcpu εμπεριέχει 32 καταχωρητές γενικής χρήσης όπου συνδέονται άμεσα με τη Λογική και Αριθμητική Μονάδα (ALU). Μέσω της αρχιτεκτονικής RISC που εφαρμόζεται στον μικροελεγκτή επιταχύνεται η διαμεταγωγή έως και δεκαπλάσια, αυτό το καταφέρνει μέσω δύο ανεξάρτητων καταχωρητών οι οποίοι θα είναι προσβάσιμοι με μία μόνο εντολή, η οποία εκτελείται σε έναν κύκλο ρολογιού. Ο μικροελεγκτής μπορεί να εμπεριέχει κάποια ειδικά χαρακτηριστικά όπως θα δούμε παρακάτω

1. CPU 8bit
2. Μνήμη Flash 32 KB από τα οποία τα 0.5 KB χρησιμοποιούνται από bootloader για ανάγνωση και εγγραφή,
3. Μνήμη SRAM: 2 KB
4. Μνήμη EEPROM: 1 KB
5. 32 καταχωρητές γενικού σκοπού
6. 28 ακροδέκτες εκ των οποίων οι 23 είναι γραμμές εισόδου – εξόδου (I/O) γενικής χρήσεως και οι άλλες είναι ακροδέκτες τροφοδοσίας -γειώσεις και είσοδος τάσης αναφοράς. Στην περίπτωση του TQFP chip έχει 32 ακροδέκτες
7. 3ις μετρητές χρονισμού και PWM
8. Ένας συγκριτής

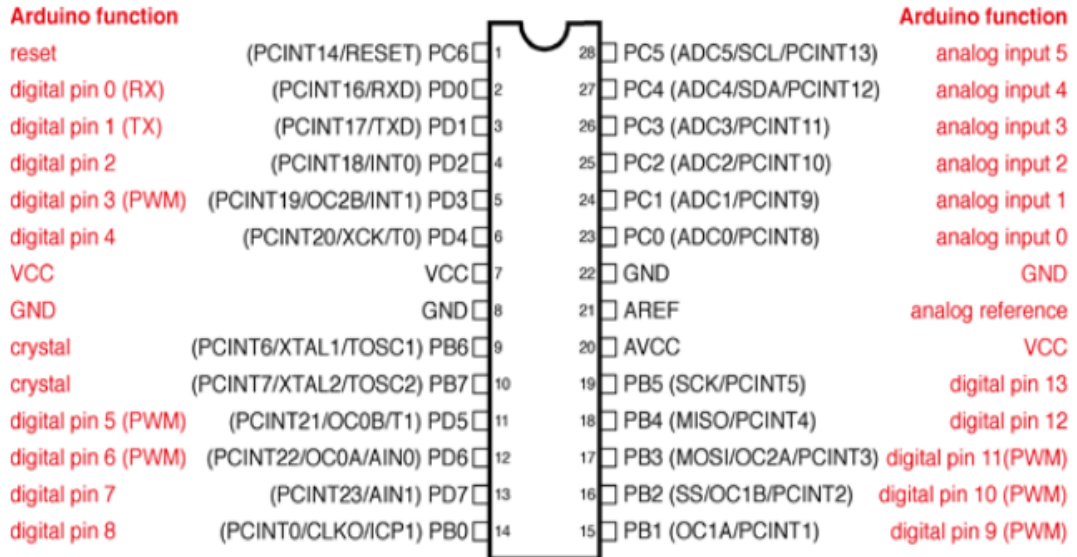
Ένας μικροελεγκτής εκτός από τα παραπάνω εμπεριέχει και αλλά στοιχεία μερικά από αυτά είναι : , μία σειριακή διεπαφή προσανατολισμένη σε byte 2 καλωδίων, έναν μετατροπέα σημάτων ADC 8 καναλιών των 10 bits, προγραμματιζόμενο WatchdogTimer με εσωτερικό ταλαντωτή, μία σειριακή θύρα SPI, 1 USART, μία σειριακή διεπαφή προσανατολισμένη σε byte 2 καλωδίων, Η κατάσταση αναμονής σταματά τη CPU, καθώς επιτρέπει τη SRAM, τους μετρητές σύστημα, προκειμένου να συνεχίσουν να λειτουργούν.



Εικόνα 4.5 – μπλοκ διάγραμμα του μικροελεγκτή Atmega328p

4.3.2 Ακροδέκτες του Atmega328p

Ο Atmega328 έχει 28 ακροδέκτες. Οι οποίοι μοιράζονται 14 ψηφιακούς ακροδέκτες εισοδου/έξοδου, από τους οποίους οι 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν PWM και 6 αναλογικούς ακροδέκτες αντίστοιχα για είσοδο και έξοδο . επίσης υπάρχουν και επιπλέον 8 ακροδέκτες που έχουν άλλες λειτουργίες και δεν είναι εισοδου εξόδου .



Εικόνα 4.6 – Ακροδέκτες του Atmega328p

ΑΚΡΟΔΕΚΤΗΣ	ΟΝΟΜΑ	ΤΥΠΟΣ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
1	PC6/RESET	Είσοδο έξοδο η RESET	Αν το RSTDISBL Fuse έχει προγραμματίσει το pin PC6 τότε λειτουργεί σαν ακροδέκτης εισόδου/εξόδου αν όχι τότε είναι σε λειτουργία RESET
2-6	PD0-PD7	Εισόδου εξόδου	Είναι ψηφιακοί ακροδέκτες διπλής κατεύθυνσης , έχουν 2πλη ικανότητα να απορρόφα και να πηγάζει .
7	VCC	Τροφοδοσία	Ακροδέκτης τροφοδοσίας +
8 και 22	GND	γείωση	Ακροδέκτες τροφοδοσίας -
9,10	PB0-PB7	Εισόδου εξόδου	Είναι ακροδέκτες διπλής κατεύθυνσης Ανάλογα με τις ρυθμίσεις ασφάλειας ρολογιού, οι ακροδέκτες PB6-PB7 μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν εισοδοι εξόδιο στον ανάστροφο ενισχυτή ταλαντωτή
11-13	PDO-PD7	Εισόδου εξόδου	Είναι ψηφιακοί ακροδέκτες διπλής κατεύθυνσης , έχουν 2πλη ικανότητα να απορρόφα και να πηγάζει .
14-19	PB0-PB7	Εισόδου εξόδου	Είναι ψηφιακοί ακροδέκτες διπλής κατεύθυνσης
20	AVCC	Τροφοδοσία ADC	Είναι ακροδέκτης τροφοδοσίας για τον μετατροπέα ADC
21	AREF	Εισόδου	Είναι ακροδέκτης της τάσης αναφοράς. για τον μετατροπέα ADC
23-28	PC0-PCD	Εισόδου εξόδου	Είναι αναλογικοί ακροδέκτες διπλής κατεύθυνσης

Πίνακας 4.2 Πίνακας ακροδεκτών

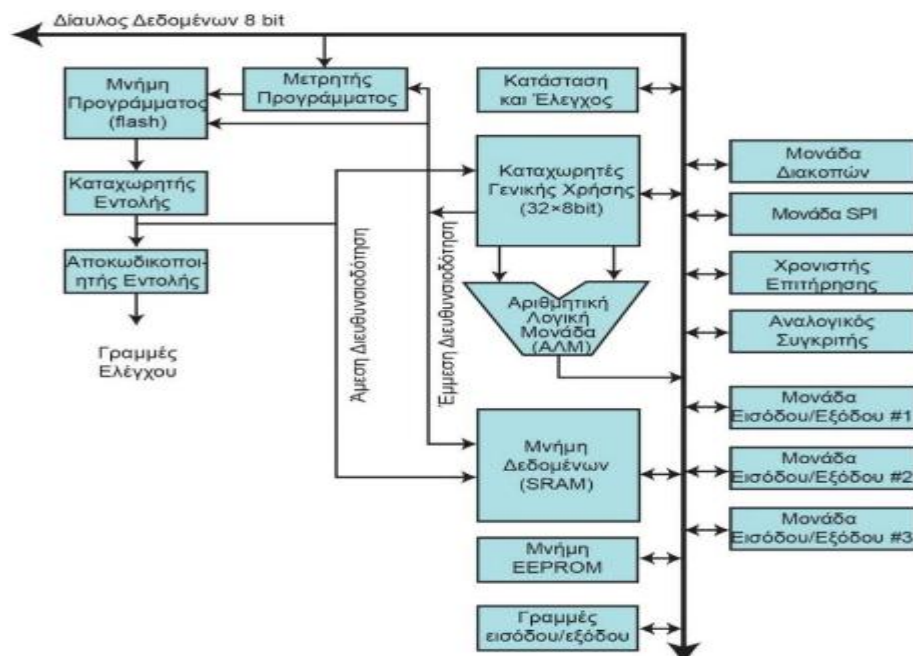
4.3.3 Χαρακτηριστικά Atmega328p

Ο μικροελεγκτής μας έχει τα παρακατω χαρακτηριστικά

- AVR 8 bit μικροελεγκτή υψηλής απόδοσης και χαμηλής κατανάλωσης ισχύος.
- Αρχιτεκτονική RISC η οποία με την σειρά της έχει κάποια υποχαρακτηριστικά
 1. 32 8bit καταχωρητές γενικής χρήσης.
 2. 31 εντολές, εκ των οποίων οι περισσότερες απαιτούν μόνο ένα κύκλο ρολογιού για την εκτέλεση τους.
 3. Απόδοση μέχρι 20 MIPS στα 20MHz.
 4. Ενσωματωμένο πολλαπλασιαστή δύο κύκλων ρολογιού
- Μη πτητική μνήμη προγράμματος και δεδομένων. Οι οποίες χωρίζεται στις παρακατω μνήμες
 1. 32KB αναπρογραμματιζόμενη μνήμη FLASH με διάρκεια 10.000 κύκλων εγγραφών/διαγραφών.
 2. 1 KB μνήμη EEPROM διάρκεια 100.000 κύκλων εγγραφών/διαγραφών.
 3. 2 KB εσωτερική SRAM
 4. Προγραμματιζόμενο κλείδωμα για την ασφάλεια του προγράμματος.
- Χαρακτηριστικά περιφερειακών
 1. Έναν μεγέθους 16 bit χρονιστη/Απαριθμητή με ανεξάρτητο προδιαιρέτη.,
 2. Δύο μεγέθους 8 bit χρονιστές/Απαριθμητές με ανεξάρτητο προδιαιρέτη
 3. 6 κανάλια PWM.
 4. απαριθμητή πραγματικού χρόνου με ξεχωριστό ταλαντωτή.
 5. 6 κανάλια ADC στην συσκευασία PDIP διακριτότητας 10 bit.
 6. 8 κανάλια ADC στην συσκευασία TQFP και QFN /MLF με διακριτότητα 10 bit

7. Προγραμματιζόμενη Serial USART.
 8. Master/Slave SPI λειτουργία.
 9. Προγραμματιζόμενο WatchdogTimer με ξεχωριστό on-chip ταλαντωτή.
 10. On-chip αναλογικό συγκριτή
 11. Σειριακή θύρα με δυνατότητες σύγχρονης και ασύγχρονης λειτουργίας
- Ειδικά χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή.
 1. Σύστημα επανεκκίνησης του μικροελεγκτή κατά την έναρξη της τροφοδοσίας
 2. Εσωτερικό ρολόι.
 3. 6 sleep modes για εξοικονόμηση ενέργειας
 4. Εσωτερικές και εξωτερικές διακοπές.
 - Μέγιστη συχνότητα λειτουργίας 20 MHz
 - Τάση λειτουργίας 1.8 – 5.5V.
 - Θερμοκρασία λειτουργίας -40 έως 85 βαθμούς Κελσίου.

4.4 Αρχιτεκτονική του ATmega328P



Εικόνα 4.7 – Αρχιτεκτονική μικροελεγκτή Atmega328p

Ο μικροελεγκτής βασίζεται στην αρχιτεκτονική Harvard, δηλαδή χρησιμοποιεί διαφορετικές μνήμες και κανάλια για προγράμματα και δεδομένα αντίστοιχα, αυτό το χαρακτηριστικό δίνει την δυνατότητα ανάκλησης από την μνήμη, ενώ θα εκτελείται μια τρέχουσα εντολή, όλα αυτά γίνονται σε έναν μόλις κύκλο εντολής. Η μνήμη flash που χρησιμοποιεί, εξασφαλίζει εύκολο επαναπρογραμματισμό, η μνήμη αυτή είναι χωρισμένη στην περιοχή εκκίνησης (boot) και στην περιοχή των εφαρμογών. Η CPU του μικροελεγκτή είναι, εμπλουτισμένη με ορισμένα συστατικά για επιτύχουν ομαλή λειτουργία ως προς τις επικοινωνίες με εξωτερικές συσκευές, ως προς την ανάγνωση αναλογικών σημάτων, την επιτήρηση της λειτουργίας τους κ.α. παρακατω βλέπουμε τα μέρη από τα οποία αποτελείται η CPU του μικροελεγκτή.

- Αριθμητική και Λογική Μονάδα (ΑΛΜ). :k Εκτέλεση αριθμητικών και λογικών πράξεων.
- Μνήμη flash: εδώ φιλοξενούνται τα προγράμματα του χρήστη. Η μνήμη flash δεν χρειάζεται τροφοδοσία για να κρατήσει τα περιεχόμενα.

- Μνήμη SRAM : Εδώ γίνεται Αποθήκευση και ανάγνωση δεδομένων που διαχειρίζονται τα προγράμματα.
- Μνήμη EEPROM : Εδώ γίνεται μόνιμη αποθήκευση δεδομένων
- Μειρητή προγράμματος (counter program) : Εδώ εμφανίζει την διεύθυνση της επομένης εντολής που πρόκειται να εκτελεστεί από την cpu.
- Καταχωρητές γενικής χρήσης : αυτοί η καταχωρητές είναι 32 .αυτοί οι καταχωρητές αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες διευθύνσεις . Αυτά τα είδη καταχωρητή μας χρησιμεύουν για να αναπτύξουμε λειτουργικά πρόγραμμα (λογική ελέγχου, αριθμητικούς υπολογισμούς ,λογικούς υπολογισμούς κλπ.). 3 είδη καταχωρητών (X,Y,Z) είναι αυξημένων δυνατοτήτων

7	0	Διεύθυνση	
R0		\$00	
R1		\$01	
.			
.			
R15		\$0F	
R16		\$10	
.			
.			
R26		\$1A	X (χαμηλής τάξης byte)
R27		\$1B	X (υψηλής τάξης byte)
R28		\$1C	Y (χαμηλής τάξης byte)
R29		\$1D	Y (υψηλής τάξης byte)
R30		\$1E	Z (χαμηλής τάξης byte)
R31		\$1F	Z (υψηλής τάξης byte)

Εικόνα 4.8 – Καταχωρητές γενικής χρήσης

- Καταχωρητή κατάστασης : είναι ο πιο σημαντικός σημαντικός καταχωρητή χρήστη που ενδιαφέρει τον προγραμματιστή .Μας δείχνει την κατάσταση της CPU,μας δίνει πληροφορίες για το αποτέλεσμα μιας αριθμητικής η λογικής μονάδας από κάτω βλέπουμε τι πληροφορία μας δεινή το καθένα από τα 8 bit που περιέχει

7	6	5	4	3	2	1	0
I	T	H	S	V	N	Z	C

Πίνακας 4.3 καταχωρητή κατάστασης

Για να δούμε αναλυτικά πληροφορίες για το συμβολίζει ο παραπάνω πίνακας μπορούμε να πάμε στο παράρτημα

- Καταχωρητή Εντολής και Αποκωδικοποιητής: Αναλύουν τη μορφή και τη λειτουργία της τρέχουσας εντολής, ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή εκτέλεσή της μέσω των κατάλληλων σημάτων .
- Αναλογικός συγκριτής : Υποστήριξη της λειτουργίας ανάγνωσης αναλογικών σημάτων.
- Βασικός χρονιστής &Χρονιστής επιτήρησης : Στον βασικό χρονιστεί εξασφαλίζεται τη σωστή συνεργασία των εσωτερικών βαθμίδων, ώστε να είναι δυνατή η εκτέλεση των εντολών. Ο χρονιστής επιτήρησης βοηθάει στην ομαλή λειτουργία της εφαρμογής από δυσλειτουργίες.
- Μονάδα SPI : υποστήριξη ειδικού πρωτόκολλου επικοινωνίας με εξωτερικές ψηφιακές συσκευές που δίνουν δεδομένα σε ψηφιακή μορφή.
- Μονάδα διακοπών: πρόκειται για ειδικό κύκλωμα που αναγνωρίζει τις εξωτερικές διακοπές και βοηθά την cpu να τις διαχειριστεί κατάλληλα.
- Μονάδες Εισόδου/Εξόδου : Εδώ εξασφαλίζεται η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του μικροελεγκτή και των μονάδων διατάξεων και κυκλωμάτων .

4.5 ARDUINO

4.5.1 Εισαγωγή στο arduino



Εικόνα 4.9 - Logo arduino

Το arduino δημιουργήθηκε το 2005 από τους Massimo Banzi και David Cueartielles οπότε και πήρε το όνομα του Αρντουίνο της Λιβρέας . ο Λόγος που δημιουργήθηκε το συγκεκριμένο κύκλωμα ήταν , να φτιαχτεί μία συσκευή για τον έλεγχο προγραμμάτων διαδραστικών σχεδίων από μαθητές, η οποία δεν θα ήταν τόσο ακριβά όσο ήταν άλλα αντίστοιχα συστήματα, που υπήρχαν εκείνη την περίοδο. Οι πρώτες πλακέτες arduino που φτιάχτηκαν , ήταν σε ένα μικρό εργοστάσιο στην Ιβρέα του Τορίνο ,.

Το Arduino είναι ένας μικροελεγκτής μονής πλακέτας, δηλαδή μια απλή πλακέτα single board ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους. Το arduino χρησιμοποιεί γλώσσες προγραμματισμού C και C++ καθώς και ένα σύνολο από ψηφιακές βιβλιοθήκες κωδικα , Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αρκετές εφαρμογές ως ένα κομμάτι ενός υπολογιστικού συστήματος. που θα ελέγχει συσκευές του φυσικού κόσμου όπως έξυπνες συσκευές μέσω IoT ,ρομποτική, στις τηλεπικοινωνίες κλπ. , το Αρντουίνο μπορεί να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω προγραμμάτων σε Processing, , superCollider Pure Data, SuperCollider κλπ. ., το Αρντουίνο μπορεί να αναπτύξει και ανεξάρτητα διαδραστικά αντικείμενα .Με απλά λόγια το ολοκληρωμένο μας λειτουργεί σαν ένας μικροϋπολογιστής , ο χρήστης μπορεί να προγραμματίσει τον ελεγκτή να δέχεται δεδομένα στην μονάδες εισόδου του και να στέλνει της καταλληλες εντολές στις μονάδες εξόδου

Το κύριο τμήμα του Arduino είναι ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιεί, ο οποίος είναι από την οικογένεια των Atmega AVR της atmel, οι μικροελεγκτές που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι οι ATmega328 και ATmega168 ATmega2560 οι Και παλιότερα τον Atmega8 ,οι οποίοι AVR χρησιμοποιούν μια τροποποιημένη Harvard αρχιτεκτονική RISC , και όλα τα χαρακτηριστικά που έχουν οι συγκεκριμένοι ελεγκτές που μελετήσαμε και στα προηγούμενα κεφάλαια . επίσης το arduino διαθέτει και συμπληρωματικά εξωτερικά εξαρτήματα για την διευκόλυνση του χρήστη στον για επικοινωνία με άλλες συσκευές και κυκλώματα πχ ένας υπολογιστής, για τον προγραμματισμό του . Για να προγραμματίσουμε το arduino μέσω κωδικα που είναι γραμμένος στην C++, που χρησιμοποιείτε το δωρεάν λογισμικό για ερασιτέχνες χρήστες Arduino IDE. Το arduino αποτελείται από τα παρακάτω μέρη .

1. Μικροεπεξεργαστή ,
2. Ψηφιακές είσοδοι/ έξοδοι
3. Αναλογικοί είσοδοι/έξοδοι
4. Τάσεις τροφοδοσίας 3,3 V,5V και γείωση
5. Εξωτερική τροφοδοσία
6. 6 θύρα USB
7. Κουμπί επανεκκίνησης RESET












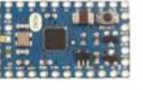


4.5.2 Πλεονεκτήματα Arduino

Τα βασικά πλεονέκτημα του Arduino είναι 5 το α)χαμηλό κόστος, β)συμβατότητα ,απλότητα στον προγραμματισμό , γ)Επεκτάσιμο λογισμικό ανοιχτού κώδικα, δ) απλό περιβάλλον προγραμματισμού ε)μεταφέρσιμη

1. Χαμηλό κόστος: το Arduino είναι πολύ οικονομική σε σχέση με άλλες πλατφόρμες διότι είναι φθηνότερη. Επιπλέον, είναι αρχιτεκτονικά ανοιχτή και μπορεί ο καθένας να την αναπτύξει μόνος του
2. Συμβατότητα: Το περιβάλλον προγραμματισμού της πλατφόρμας μπορεί να είναι συμβατή με αρκετά λειτουργικά συστήματα (Windows, και Linux ,Macintosh OSX)
3. Επεκτάσιμο λογισμικό ανοιχτού κώδικα: τα προγράμματα είναι ανοιχτού κώδικα, δηλαδή μπορεί να εφαρμόσει τα προγράμματα και τους κώδικες όπως θέλει αυτός ,σύμφωνα με τις ανάγκες του. Και μπορεί να προσθέσει βιβλιοθήκες ανάλογος την εφαρμογή που θέλει να χρησιμοποιήσει
4. απλό περιβάλλον προγραμματισμού: δηλαδή είναι αρκετά απλό για αρχάριους νέους χρήστες , αλλά έχει και πολλαπλές επιλογές για ποιο προχωρημένους .
5. μεταφέρσιμη: Σε σχέση με τις υπάρχουσες πλατφόρμες στο εμπόριο η πλατφόρμα Arduino παρέχει πλήρη μεταφερσιμότητα με αποτέλεσμα να μπορεί να προγραμματιστεί στα περισσότερα λειτουργικά συστήματα.

4.5.3 Είδη arduino

Υπάρχουν αρκετά είδη Αρντουίνο που καλύπτουν άπειρο φάσμα εφαρμογών μετα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες που έχουν . Υπάρχουν απλά είδη Αρντουίνο αλλά και ποιο σύνθετα που χρησιμοποιούν κάποιες παροχές όπως είναι το Ethernet, Wi-Fi το gsm κ.α.

				
Arduino Uno	Arduino Leonardo	Arduino Mega 2560	Arduino LilyPad	Arduino Mega ADK
				
Arduino Fio	Arduino Ethernet	Arduino Pro	Arduino BT	Arduino Nano
				
USB/Serial Light Adapter	Arduino Mini	Mini USB/Serial Adapter	Arduino Pro Mini	

Εικόνα 4.10 – Είδη Αρντουίνο

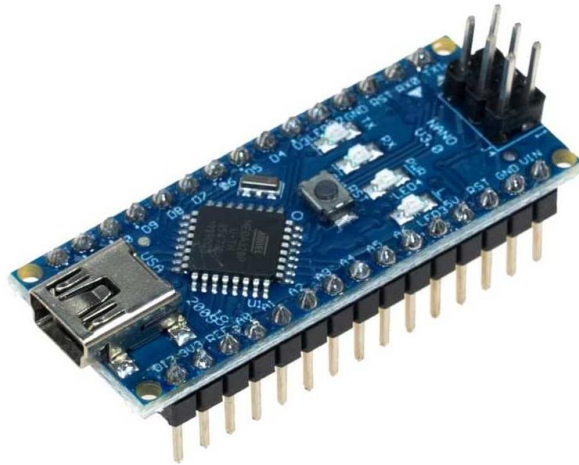
1. Το Arduino Uno, είναι το πιο διαδεδομένο μοντέλο Arduino χρησιμοποιεί μικροελεγκτή ATmega328, έχει τάση λειτουργίας 5V περιέχει 14 ψηφιακές εισόδους εξόδους ,6 αναλογικές εισόδους , ταχύτητα ρολογιού στα 16MHZ , οι μνήμες του είναι περιέχει ο μικροελεγκτής ,δέχεται DC ρεύμα ανά είσοδο εξόδους 40mA
2. Το Arduino Leonardo, χρησιμοποιεί μικροελεγκτή ATmega32U4 chip που εξαλείφει την ανάγκη για συνδεσιμότητα μέσω USB και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ψηφιακό πληκτρολόγιο ή ποντίκι. έχει τάση λειτουργίας 5V περιέχει 20 ψηφιακές εισόδους εξόδους ,12 αναλογικές εισόδους , ταχύτητα ρολογιού στα 16MHZ , οι μνήμες του είναι περιέχει ο μικροελεγκτής (FLASH-32KB,SRAM,2.5KB,EEPROM 1KB ,δέχεται DC ρεύμα ανά είσοδο εξόδους 40mA.
3. Το Arduino Mega2560, χρησιμοποιεί μικροελεγκτή ATmega2560. ,USB chipset. Έχει τάση λειτουργίας 5V περιέχει 54 ψηφιακές εισόδους εξόδους ,16 αναλογικές εισόδους , ταχύτητα ρολογιού στα 16MHZ , μνήμες(FLASH 256KB,SRAM-8KB,EEPROM 4KB,δέχεται DC ρεύμα ανά είσοδο εξόδους 40mA
4. Το LilyPad Arduino, ένα μινιμαλιστικό σχέδιο που χρησιμοποιείται για εφαρμογές ένδυσης και E-textiles χρησιμοποιώντας είτε μικροελεγκτή Atmega16V είτε ATmega328p έχει τάση λειτουργίας 2.7-5.5V περιέχει 14 ψηφιακές εισόδους εξόδους ,6 αναλογικές εισόδους , ταχύτητα ρολογιού στα 8MHZ , μνήμες FLASH 16KB ,SRAM-1KB ,EEPROM 0.5KB δέχεται DC ρεύμα ανά είσοδο εξόδους 40mA.
5. Το Arduino Mini, μία έκδοση μινιατούρας του Arduino Uno χρησιμοποιώντας τεχνολογία surface-mounted ATmega168.
6. Το Arduino Nano, όπου είναι το κύκλωμα που θα χρησιμοποιηθεί στο δικό μας project, είναι μια πολύ μικρή έκδοση που μοιάζει με το arduino Uno , υποστηρίζει USB και εμπεριέχει τους μικροελεγκτές ATmega168 και ATmega328 στις νεότερες εκδόσεις ποιο αναλυτικά θα δούμε στο επόμενο υποκεφάλαιο)
7. Το arduino FIO Arduino χρησιμοποιεί μικροελεγκτή ATmega328p, έχει τάση λειτουργίας 3.3V περιέχει 14 ψηφιακές εισόδους εξόδους ,8 αναλογικές εισόδους , ταχύτητα ρολογιού στα 8MHZ , οι μνήμες του είναι περιέχει ο μικροελεγκτής Atmega328p ,δέχεται DC ρεύμα ανά είσοδο εξόδους 40mA .
8. Το arduino Ethernet που έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με το Arduino Uno αλλά χρησιμοποιεί και δίκτυο ETHERNET για την επικοινωνία 16 MHz W5100 TCP/IP,
9. Το Arduino Bluetooth, λειτουργεί με Bluetooth interface για προγραμματισμό χρησιμοποιώντας μικροελεγκτή ATmega168.
10. Το Arduino Due, είναι από τις λίγες πλακέτες που δεν χρησιμοποιούν μικροελεγκτή Atmega αλλά AT91SAM3X8 , έχει τάση λειτουργίας 3,3V περιέχει 54 ψηφιακές εισόδους εξόδους ,12 αναλογικές εισόδους, 2 εξόδους DAC , ταχύτητα ρολογιού στα 84MHZ , μνήμες (FLASH=512KB 2 μνήμες SRAM 64KB&32KB ,δέχεται DC ρεύμα ανά είσοδο εξόδους 130.mA
11. Το Arduino YUN λειτουργεί παρόμοια με ένα μικρό υπολογιστή ο υποστηρίζει λογισμικό Linux μέσω του μικροεπεξεργαστή Processor Atheros AR 933 , διαθέτει τόσο σύνδεση ETHERNET IEEE 802.3 10/100Mbit/s καθώς και WiFi IEEE 802.11b/g/n , επίσης δέχεται και κάρτα μνήμης τύπου micro-SD διαθέτει τα ίδια χαρακτηριστικά με τον Leonardo ως προς τις μνήμες το ρεύμα εισόδους κλπ. Το συγκεκριμένο arduino

χρησιμοποιεί την αρχιτεκτονική MIPS 400MHZ με τάση λειτουργίας 3,3VOLT ενώ διαθέτει και επιπλέον μνήμη RAM 64MB DDR2 και επιπλέον μνήμη FLASH 16MB.

12. Το Arduino Esplora, μοιάζει χειριστήριο κονσόλας βιντεοπαιχνιδιών με joystick και ενσωματωμένους αισθητήρες για ήχο, φως, θερμοκρασία και επιτάχυνση.

Όπως υπάρχει και τα arduino shields που είναι για να συνδέσουμε επιπλέον εξωτερικά εξαρτήματα Hardware , το μικροελεγκτή που του προσδίδει μια νέα ιδιότητα, κυρίως σε θέματα επικοινωνίας. Με την προσαρμογή του υλικού αυτού η επικοινωνία από σειριακή (μέσω USB) μετατρέπεται στην αντίστοιχη που διακρίνει το Shield. υπάρχουν αρκετά τέτοια είδη , θα δούμε μερικά παρακατω .

1. Ethernet Shield: Ενσύρματη επικοινωνία μέσω καλωδίου Ethernet .Σε κάποια μοντέλα υπάρχει θύρα υποδοχής SD.
2. WI-FI shield: ασύρματη επικοινωνία μέσω δικτύου WI-FI .Σε κάποια μοντέλα υπάρχει θύρα υποδοχής SD.
3. GSM Shield: έχει δυνατότητες όπως ένα κινητό σύνδεση στο διαδίκτυο, να στείλει/ λάβει κλήσεις φωνής και να στείλει λάβει μηνύματα SMS. Χρησιμοποιεί ένα radiomodemM10 από την Quectel Για να λειτουργήσει χρειάζεται κάρτα τηλεφώνου από κάποιον παροχή κινητής επικοινωνίας
4. MKR CAN Shield : συνδέεται εύκολα σε ένα διαύλου τύπου CAN Το MKR CAN μπορεί να απλοποιήσει τη σύνδεση των πλακών MKR με βιομηχανικά συστήματα αλλά και στις μεταφορές όπως έξυπνα οχήματα .
5. Motor Shield: μετράει την κατανάλωση ρεύματος σε κάθε κινητήρα ,επιτρέπει την οδήγηση δύο DC κινητήρων, ελέγχοντας την ταχύτητα και την κατεύθυνση του καθενός ξεχωριστά
6. ProtoShield. Καθιστά εύκολη την υλοποίηση πρωτότυπων Shields. Τα μέρη του μπορούν να κολληθούν στην περιοχή κατασκευής πρωτοτύπων.



Εικόνα 4.11 –Arduino Nano

Το Arduino Nano είναι η μικρότερη πλακέτα της οικογένειας Arduino .Η λειτουργία του είναι ακριβώς με τον Arduino Uno απλά στο μικρότερο μέγεθος .Το Arduino Nano διαθέτει ως μικροελεγκτή των ATmega328p , της Atmel., σε παλιότερες εκδόσεις χρησιμοποίησε και τον Atmega168 . ΤΟ Arduino Nano Είναι μια ολοκληρωμένη πλακέτα που περιέχει ότι μπορεί να προγραμματιστεί και να λειτουργήσει σωστά, συνδέοντάς την στον ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω ενός καλώδιου Mini-B USB.

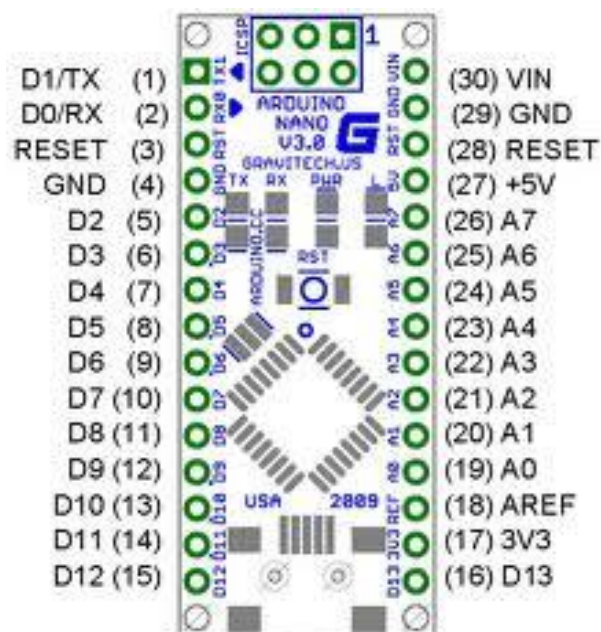
Χαρακτηριστικά arduino Nano : το arduino λειτουργεί με τροφοδοσία 5V DC μέσω της θύρας USB, ενώ η τάση λειτουργίας του κυμαίνεται από 7-12V.Διαθέτει 3 ειδών μνήμων (FLASH,SRAM,EEPROM ,) . Η μνήμη FLASH αποθηκεύει το πρόγραμμα (sketch) έχει χωρητικότητα 32KB από τα οποία 2KB χρησιμοποιούνται από το firmware του Arduino, στην παλιότερη έκδοση του Atmega168 η αντίστοιχη μνήμη ήταν 16KB. Η μνήμη SRAM έχει χωρητικότητα 2KB στον Atmega328, Ενώ στην έκδοση των 168 είναι στο 1KB.Η μνήμη EEPROM Έχει τωρινή έκδοση 1KB χωρητικότητα ενώ στην παλιά έκδοση μόλις 512byte.

Η πλακέτα του διαθέτει 14 ψηφιακές εισόδους και εξόδους ,εκ των οποίων οι 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν PWM εξόδους, διαθέτει επίσης 8 αναλογικές εισόδους, 1 θύρα Mini-B USB για την τροφοδοσία και τον προγραμματισμό της, 1 υποδοχή ICSP και κουμπί reset για επανεκκίνηση της πλακέτας . Από κάτω θα δούμε την λειτουργία των ακροδεκτών Κάθε ένα από τα 14 ψηφιακά pins μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι ή εξοδοι χρησιμοποιώντας λειτουργίες όπως , digitalWrite () και digitalWrite (),pinMode (), . το ρεύμα που παρέχεται ή λαμβάνεται από κάθε pin είναι Κάθε μέγιστο 40 mA , έχει εσωτερική αντίσταση pull-up 20-50KΩ, μερικά pins έχουν εξειδικευμένες λειτουργίες, ποιο αναλυτικά .

1. σειριακό 0 (RX) Εκεί γίνεται η λήψη για τα σειριακά δεδομένα.
2. •σειριακό 1 : 1 (TX). Χρησιμοποιείται για TTL σειριακά δεδομένα.

Οι παραπάνω ακροδέκτες συνδέονται με τους αντίστοιχους ακροδέκτες του σειριακού τσιπ FTDI USB-to-TTL.

3. Εξωτερικές διακοπές :2 και 3 Αυτά μπορούν να προκαλέσουν διακοπή σε χαμηλή τιμή, άνοδο ή πτώση άκρης ή αλλαγή τιμής. Για να παραπάνω πληροφορίες πηγαίνετε, στο παράρτημα attachInterrupt.
4. PWM : Είναι τα digital pins 3, 5, 6, 9, 10, 11 Παρέχετε έξοδο PWM 8-bit με τη λειτουργία analogWrite() για παραπάνω πληροφορίες πηγαίνετε στο παράρτημα analog write .
5. SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), D12 (MISO), 13 (SCK). Αυτοί οι ακροδέκτες υποστηρίζουν την επικοινωνία SPI, η οποία όμως δεν λειτουργεί ευκολά στο πρόγραμμα arduino .
6. LED: D13 υπάρχει ένα λαμπάκι LED το οποίο έχει συνδεθεί στον ακροδέκτη 13 , μας βοηθάει στο να ξεχωρίσουμε ποτέ είναι HIGH τιμή και ποτέ low , όταν είναι HIGH το LED ανάβει.
7. Η μόνη διαφορά τους με τον Αρντουίνο Uno είναι ακριβώς αυτό ενώ στον Uno έχουμε 6 αναλογικούς ακροδέκτες στην περίπτωση του Nano έχουμε 8 .Οι αναλογικοί ακροδέκτες A0-7 παράγουν 10bits(δηλαδή 1024 διαφορετικές τιμές ο καθένας τους , αν και είναι δυνατή η αλλαγή του ανώτερου άκρου της περιοχής τους στην τάση που είναι 5VOLT χρησιμοποιούμε τη λειτουργία analogReference που βλέπουμε πιο αναλυτικά στο παράρτημα . εδώ να προσθέσουμε ότι pins 6 και 7 δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ψηφιακά.
8. 2C: 4 (SDA) και 5 (SCL). Υποστηρίζει το πρωτόκολλο επικοινωνίας I2C (TWI) .
9. AREF:Τάση αναφοράς για τις αναλογικές εισόδους.
10. VIN : τάση εισόδου
11. GND:ΓΙΩΣΗ
12. RESET: επανεκκίνηση της πλακέτας του Arduino.



Εικόνα 4.12 –ακροδέκτες

4.6 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ARDUINO IDE

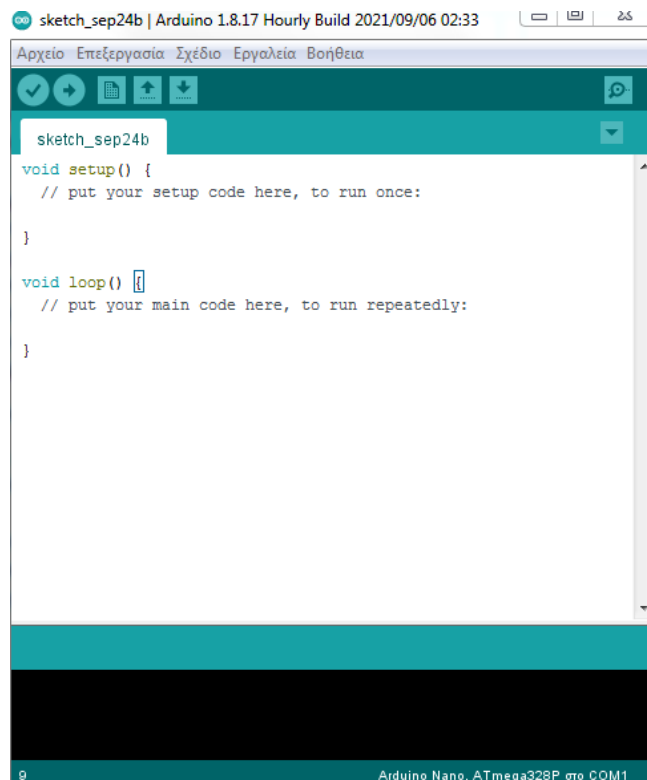
Το Arduino IDE αποτελεί το περιβάλλον ανάπτυξης του κώδικα για τον μικροελεγκτή όλων των μοντέλων του Arduino, είναι βασισμένο σε Java και συγκεκριμένα παρέχει: ένα **SKETCH** για την συγγραφή των προγραμμάτων σας, έτοιμα παραδείγματα , για να χειριζόμαστε ευκολότερα μέσα από τον κώδικά τα εξαρτήματα που συνδέονται στο Arduino χρησιμοποιούνται έτοιμες βιβλιοθήκες για προέκταση της γλώσσας, compiler για την μεταγλώττιση των sketch, ένα serial monitor που παρακολουθεί τις επικοινωνίες της σειριακής (USB), αναλαμβάνει να στείλει αλφαριθμητικά της επιλογής σας στο Arduino μέσω αυτής και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για το debugging των sketch , Την επιλογή να ανεβάσει το μεταγλωττισμένο sketch στο Arduino.

Ένα περιβάλλον ανάπτυξης Arduino εμπεριέχει:

1. Μια περιοχή επεξεργασίας κειμένου, στην οποία εγγράφουμε τον κώδικα μας ο οποίος είναι γραμμένος σε γλώσσα C
2. Μια περιοχή μηνυμάτων
3. Μια γραμμή εργαλείων όπου έχω τον χαρακτήρα ενός μενού που έχει για κοινές λειτουργίες, καθώς και μια σειρά από μενού. Συνδέεται με το υλικό Arduino για τη φόρτωση προγραμμάτων και για να επικοινωνούν μεταξύ τους.
4. Και ένα μενού .

4.6.1 Περιβάλλον ανάπτυξης Arduino

Στο ARDUINO IDE με το που μπούμε στην ειδική εφαρμογή, εμφανίζει το παρακατω παράθυρο που ονομάζεται Περιβάλλον ανάπτυξης Arduino



Εικόνα 4.13 –Περιβάλλον ανάπτυξης Arduino

Το λογισμικό Συνδέεται με το υλικό Arduino για τη φόρτωση προγραμμάτων και για να επικοινωνούν μεταξύ τους. Ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα ενός τέτοιου περιβάλλοντος ονομάζεται SKETCH

Τα εργαλεία που παραταίξονται στην παρακατω εικόνα από τα αριστερά έως τα δεξιά είναι :

- Το τικ που ονομάζεται VERIFY το οποίο ελέγχει για τυχόν λάθη στον κωδικα μας
- Το αριστερό βελάκι UPLOAD το οποίο φορτώνει τον κωδικα πάνω στο Arduino
- Το έγγραφο NEW στο οποίο δημιουργούμε ένα νέο SKETCH
- Το πάνω βελάκι OPEN Ανοίγει ένα μενού το οποίο έχουμε αποθήκευση η έχουμε κατεβάσει διάφορα SKETCH
- Το κάτω βελάκι SAVE το οποίο αποθηκεύουμε το SKETCH
- Ο φακός αναζήτησης SERIAL MONITOR Serial monitor ο οποίος μας ανοίγει την σειριακή θύρα, Στην οποία βλέπουμε τα δεδομένα που αποστέλλονται από και προς την πλακέτα του Arduino.



Εικόνα 4.14 –Γραμμή εργαλείων

4.6.2 δομή του περιβάλλοντος ανάπτυξης

Η δομή του περιβάλλοντος ανάπτυξης αποτελείτε από 2 μέρη , από την Void setup και την void Loop .

Στην Void setup Κυρίως, γίνονται οι αρχικοποιήσεις των μεταβλητών, η ρυθμίζονται οι καταστάσεις των (pins) και η προετοιμασία των βιβλιοθηκών. Η setup καλείτε μια φορά όταν ξεκινά το Sketch, η όταν γίνεται reset.

Στην Void loop αντίθετα καλείτε συνέχεια .Εδώ βρίσκονται οι εντολές οι οποίες λένε, στην πλακέτα μας πώς να λειτουργήσει σωστά και είναι η βασική εντολή του προγράμματος .Ο μονός τρόπος να σταματήσει να καλείτε είναι να κλείσει εντελώς το πρόγραμμα η να κάνει Reset ο ίδιος ο χρήστης .

4.6.3 Βασικές εντολές και Συναρτήσεις του προγράμματος

Σε ένα πρόγραμμα Arduino οι εντολές διακρίνονται σε συναρτήσεις, δομές και τιμές.

Δομές :οι τύποι δομών χωρίζονται σε υποκατηγορίες

1. Δομές ελέγχου

- if (δομή ελέγχου μίας συνθήκης)
- if ... else (δομή ελέγχου πολλαπλών συνθηκών)
- for (δομή επαναληπτικού ελέγχου συνθήκης)
- While (δομή επαναληπτικού ελέγχου συνθήκης)
- do ... while (δομή επαναληπτικού ελέγχου συνθήκης)
- Break (εντολή διακοπής μιας επαναληπτικής δομής)
- switch ... case (δομή ελέγχου περιπτώσεων)
- Return (εντολή επιστροφής από μία συνάρτηση)
- Continue (εντολή παράλειψης της τρέχουσας επανάληψης)
- goto (εντολή μετάβασης σε κάποιο σημείο του κώδικα)

2. Δομές Σύνταξης

- ; (Ολοκλήρωση εκτέλεσης μιας εντολής).
- {} (Δομή εισαγωγής κι εκτέλεσης ενός συνόλου εντολών.)
- // (Σχόλιο μίας μόνο γραμμής.)
- #include: (Εισαγωγή βιβλιοθήκης.)
- /**/ (Σχόλια που εκτείνονται σε περισσότερες της μίας γραμμής.
- #define (Ορισμός σταθερών τιμών μεταβλητών.)

3. Αριθμητικοί τελεστές

- + (Τελεστής πρόσθεσης.)
- - (Τελεστής αφαίρεσης).
- * (Τελεστής πολλαπλασιασμού)
- / (Τελεστής διαίρεσης.)
- % (Τελεστής υπόλοιπου διαίρεσης).
- = (Τελεστής εκχώρησης τιμής)

4. Δομές Σύγκρισης

- == (ίσο)
- != (ανισότητα)
- > (μεγαλύτερο)
- < (μικρότερο)
- >= (μεγαλύτερο ή ίσο)
- <= (μικρότερο ή ίσο)

5. Λογικοί τελεστές

- && (λογική σύζευξη)
- || (λογική διάζευξη)
- ! (λογική άρνηση)

6. δυαδικοί τελεστές

- & (Δυαδικός τελεστής AND.)
- | (Δυαδικός τελεστής OR.)
- ^ (Δυαδικός τελεστής XOR.)
- ~ (Δυαδικός τελεστής NOT.)
- << (δυαδική αριστερή ολίσθηση)
- >> (δυαδική δεξιά ολίσθηση)

7. Τελεστές αύξησης και μείωσης

- ++ (αύξηση κατά μία ακέραιη μονάδα)
- -- (μείωση κατά μία ακέραιη μονάδα)

8. Σύνθετοι τελεστές

- +=, -=, *=, /=, %= (σύνθετοι αριθμητικοί τελεστές)
- &=, |=, ^=, ~=, <<=, >>= (σύνθετοι δυαδικοί τελεστές)

9. Τελεστές δεικτών

- * (τελεστής απόκτησης περιεχομένου)
- & (τελεστής απόκτησης διεύθυνσης)

Οι τιμές όμοιοι διακρίνονται και αυτές σε υποκατηγορίες

1. Σταθερές τιμές

- HIGH - LOW (τιμή υψηλής - χαμηλής στάθμης για μια επαφή εισόδου/εξόδου)
- False-true (αληθές -ψευδές λογικό επίπεδο μιας συνθήκης)
- INPUT-OUTPUT (ορισμός επαφής εισόδου- εξόδου)
- A0-A15 (συμβολισμός αναλογικών επαφών εισόδου)

2. Μετατροπές τυπων

- char (προσημασμένος χαρακτήρας 8 ψηφίων)
- Byte (μη προσημασμένος χαρακτήρας 8 ψηφίων)
- int (προσημασμένος ακέραιος αριθμός 16 ψηφίων)
- Float (αριθμός κινητής υποδιαστολής απλής ακρίβειας)
- Word (μη προσημασμένος ακέραιος αριθμός 16 ψηφίων)
- long (προσημασμένος ακέραιος αριθμός 32 ψηφίων)

3. Τύποι δεδομένων

- Void(μια συνθήκη η οποία δεν επιστρέφει)
- boolean (λογική δυαδική τιμή)
- unsigned char (μη προσημασμένος χαρακτήρας 8 ψηφίων)
- unsigned int (μη προσημασμένος ακέραιος αριθμός 16 ψηφίων)
- unsigned long (μη προσημασμένος ακέραιος αριθμός 32 ψηφίων)
- double (αριθμός κινητής υποδιαστολής απλής ακρίβειας)
- string αντικείμενο (κείμενο αλφαριθμητικού με χρήσιμες μεθόδους)
- string πίνακας (πίνακας αλφαριθμητικού με χρήσιμες μεθόδους)
- τύποι δεδομένων είναι και οι τύποι που χρησιμοποιούνται για μετατροπές τύπων (char,byte,int,float,word,long)

1. Ψηφιακές I/O

- pinMode (ορίζει μια επαφή ως είσοδο ή έξοδο)
- digitalWrite (γράφει σε μία ψηφιακή επαφή εξόδου)
- digitalRead (διαβάζει από μία ψηφιακή επαφή εισόδου)

2. Συναρτήσεις αναλογικής εισόδου και εξόδου

- analogReference() (ορίζει την τάση αναλογικής αναφοράς)
- analogWrite() (γράφει PWM σήματα σε μία επαφή εξόδου)
- analogRead() (διαβάζει από μία αναλογική επαφή εισόδου)

3. Προηγμένες συναρτήσεις εισόδου-εξόδου I/O

- tone() (Δημιουργεί ένα τετραγωνικό σήμα δεδομένης συχνότητας).
- noTone() (Διακοπή της παραγωγής τετραγωνικών σημάτων).
- shiftOut() (ολισθαίνει τα ψηφία μιας τιμής σε μία επαφή εξόδου)
- shiftIn(): (Ολισθαίνει τα ψηφία μιας μεταβλητής από έναν ακροδέκτη εισόδου).
- pulseIn(): Επιστροφή της διάρκειας ενός παλμού (HIGH/LOW) σε μs.

4. Συναρτήσεις χρόνου

- millis() –micros() (διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος σε ms-μs)
- delay (παύση προγράμματος - η διάρκεια σε ms)
- delayMicroseconds (παύση προγράμματος - η διάρκεια σε μs)

5. Μαθηματικές συνάρτησης

- Min()-max() (βρίσκει τον μικρότερο η μεγαλύτερο ανάμεσα σε δύο αριθμούς)
- abs() (επιστρέφει την απόλυτη τιμή ενός αριθμού)
- constrain(): (Περιορισμός του εύρους διακύμανσης ενός αριθμού στα επιθυμητά όρια)
- map() (πραγματοποιεί γραμμικό μετασχηματισμό ορίων)
- pow() (επιστρέφει το αποτέλεσμα μίας δύναμης)
- sqrt())Επιστροφή το αποτελέσματα της τετραγωνικής ρίζας μιας μεταβλητής)
- sin() (Υπολογισμός του ημιτόνου μιας μεταβλητής σε rad).
- cos() (Υπολογισμός του συνημίτονου μιας μεταβλητής σε rad).
- tan() (Υπολογισμός της εφαπτομένης μιας μεταβλητής σε rad).
- random() (δίδεται ένας νέος αριθμός από την γεννήτρια)
- randomSeed() (θέτει τον σπόρο της γεννήτριας παραγωγής)

6. Συναρτήσεις χαρακτήρων

- isAlphaNumeric() (Επιστροφή)
- true αν ένας χαρακτήρας είναι λατινικός χαρακτήρας ή αριθμός.
- isAlpha() Επιστρέφει true αν ένας χαρακτήρας είναι λατινικός χαρακτήρας.
- isAscii() Επιστρέφει true αν ένας χαρακτήρας είναι αριθμός Ascii.
- isWhitespace() (Επιστρέφει true αν ένας χαρακτήρας αποτελεί ένα σύνολο χαρακτήρων που απαρτίζουν οριζόντια ή κάθετα τον χώρο στην τυπογραφία).
- isControl() (Επιστροφή true αν ένας χαρακτήρας αποτελεί χαρακτήρα ελέγχου).
- isDigit() (Επιστρέφει true αν ένας χαρακτήρας είναι ψηφίο).
- isLowerCase() (Επιστρέφει true αν ένας χαρακτήρας είναι γραμμένος με μικρά γράμματα).
- isUpperCase() (Επιστρέφει true αν ένας χαρακτήρας είναι γραμμένος με κεφαλαία)
- isPrintable()-in Graph (Επιστρέφει true αν ένας χαρακτήρας είναι εκτυπώσιμος).
- isPunct() (Επιστροφή true αν ένας χαρακτήρας είναι σημείο στίξης).
- isSpace() (Επιστροφή true αν ένας χαρακτήρας αντιστοιχεί στον χαρακτήρα κενού).
- isHexadecimalDigit() (Επιστρέφει true αν ένας χαρακτήρας αποτελεί δεκαεξαδικό ψηφίο) .

7. Συναρτήσεις ενεργοποίησης και απενεργοποίησης διακοπών

- interrupts() - noInterrupts() (ενεργοποιεί-απενεργοποιεί τα σήματα διακοπής)
- attachInterrupt()- detachInterrupt() (ενεργοποιεί –απενεργοποιεί μία ρουτίνα εξυπηρέτησης διακοπής)

8. συνάρτηση επικοινωνίας

- Serial (αντικείμενο σειριακής επικοινωνίας με χρήσιμες μεθόδους)

9. Συναρτήσεις δυαδικών αριθμών

- LowByte (επιστρέφει το δεξιότερο byte μίας μεταβλητής)
- highByte (επιστρέφει το αριστερότερο byte μίας μεταβλητής)
- bit (υπολογίζει μία συγκεκριμένη δύναμη με βάση το 2)
- bitRead (διαβάζει ένα συγκεκριμένο ψηφίο μίας μεταβλητής)
- bitWrite (γράφει σε ένα συγκεκριμένο ψηφίο μιας μεταβλητής)
- bitSet (γράφει την τιμή 1 σε κάποιο ψηφίο μίας μεταβλητής)
- bitClear (γράφει την τιμή 0 σε κάποιο ψηφίο μιας μεταβλητής)

4.6.4 DIGITAL-ANALOG PINS

Οι ψηφιακές (digital) πινάκια μπορούν να ρυθμιστούν είτε ως έξοδοι είτε ως είσοδοι συνήθως βέβαια είναι επιλεγμένες ως είσοδοι . ενώ τα analogs χρησιμοποιούνται ώστε να να να διαβάσει αναλογικούς αισθητήρες, οι αναλογικές ακίδες έχουν επίσης όλες τις λειτουργίες των γενικών ακροδεκτών εισόδου/εξόδου. Ας δούμε και τις συναρτήσεις τους

- pinMode (Ρυθμίζει τη συγκεκριμένο ακροδέκτη να συμπεριφέρεται ως είσοδος/ έξοδος.)
- digitalWrite (Γράφει μια υψηλή (HIGH) ή μια χαμηλή (LOW) τιμή σε έναν ψηφιακό ακροδέκτη .)
- digitalRead (Διαβάζει την τιμή από έναν συγκεκριμένο ψηφιακό ακροδέκτη, που είναι είτε HIGH είτε LOW.)
- analogWrite (Γράφει μια αναλογική τιμή (PWM κύμα) σε έναν ακροδέκτη .Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παράδειγμα να ανάψει ένα LED)
- analogRead: Διαβάζει την τιμή από τον καθορισμένο αναλογικό ακροδέκτη) .

4.7 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΚΥΚΛΩΜΑ TEA5767HN

Οι απαιτήσεις του καταναλωτικού κοινού για πιο ανεπτυγμένα και μικρότερης κατανάλωσης ολοκληρωμένα κυκλώματα έχουν αυξηθεί την τελευταία δεκαετία. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα πρέπει να είναι όσο δυνατόν μικρότερο, φθηνότερο και να καταναλώνει λιγότερη ενέργεια ειδικότερα για φορητό εξοπλισμό, αυτές οι απαιτήσεις είναι πολύ σημαντικές. Για να χρησιμοποιηθεί ένα τέτοιο ανεπτυγμένο κύκλωμα και να είναι λειτουργικό.

Το **TEA5767** είναι ενιαίο κύκλωμα ενός FM στέρεο δέκτη. Είναι μια νέα γενιά ολοκληρωμένων κυκλωμάτων(IC) χαμηλής τάσης , εμπεριέχει μια πλήρως ενσωματωμένη επιλεκτικότητα και αποδιαμόρφωση. Αυτό το ολοκληρωμένο κύκλωμα δεν απαιτεί καμιά περαιτέρω πρόσθεση επιπλέον περιφερειακών εξαρτημάτων. Ο ψηφιακός δέκτης είναι βασισμένος σε σύστημα **PLL**, Μέσω ενός λογισμικού το ράδιο μπορεί να συντονιστεί σε ευρωπαϊκούς ιαπωνικούς και αμερικανικούς σταθμούς FM. Η ενεργειακή κατανάλωση του είναι χαμηλή ,Το ρεύμα είναι περίπου 13 mA η τάση του διαφέρει μεταξύ 2,5 και 5 volt, άλλο ένα θετικό του στοιχείο είναι το μικρό μέγεθος του,

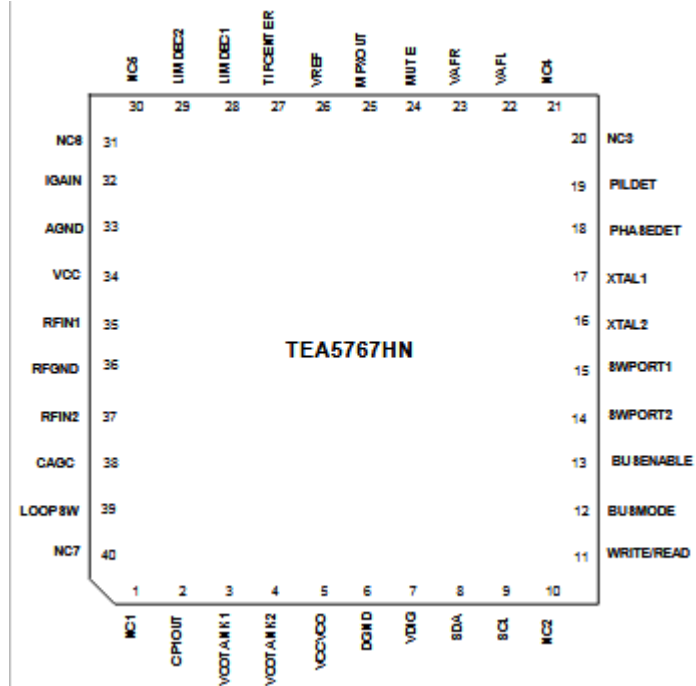
.Για να αποδειχθεί η λειτουργία των δεκτών, αναπτύσσεται μια δοκιμαστική πλακέτα, η οποία μπορεί να επεκταθεί μέσω λογισμικού το οποίο ελέγχει έναν ενισχυτή και ένα RDS CHIP.Όλη η πλακέτα επίσης ελέγχεται πλήρως από ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω ενός δοκιμαστικού λογισμικού.

Υπάρχουν 3^{ων} τύπων FM δεκτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ολοκληρωμένα κυκλώματα (TEA5767-68) 32 ή 40 επαφών (Pins)ανά ομάδα.Το ολοκληρωμένο κύκλωμα(IC) μπορεί να ρυθμιστεί από τρία καλώδια-τρίαυλο επικοινωνίας (**3 wire bus**) ή πρωτόκολλο επικοινωνίας (**I2C**) η και με τους δύο τρόπους επικοινωνίας. Αυτές οι τύποι δεκτών μπορούν να εφαρμοστούν σε μητρικές πλακέτες, οι οποίες είναι επεκτάσιμες με ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων και RDS(radio data system).

Τα TEA που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι τα εξής

1. TEA5767HN FM stereo radio, 40 pin λειτουργεί με I2C η 3-Wire bus interface, μέγεθος 6*6*0.85 mm, HVQFN (SOT1618) αρχιτεκτονικής ,
2. TEA5767HL FM stereo radio, 32 pins λειτουργεί με 3-Wire bus interface, μέγεθος: 7*7*1.4 mm, SOT358. Αρχιτεκτονικής
3. TEA5768HL FM stereo radio, 32 pins λειτουργεί I2C bus interface, μέγεθος 7*7*1.4 mm, SOT358. Αρχιτεκτονικής

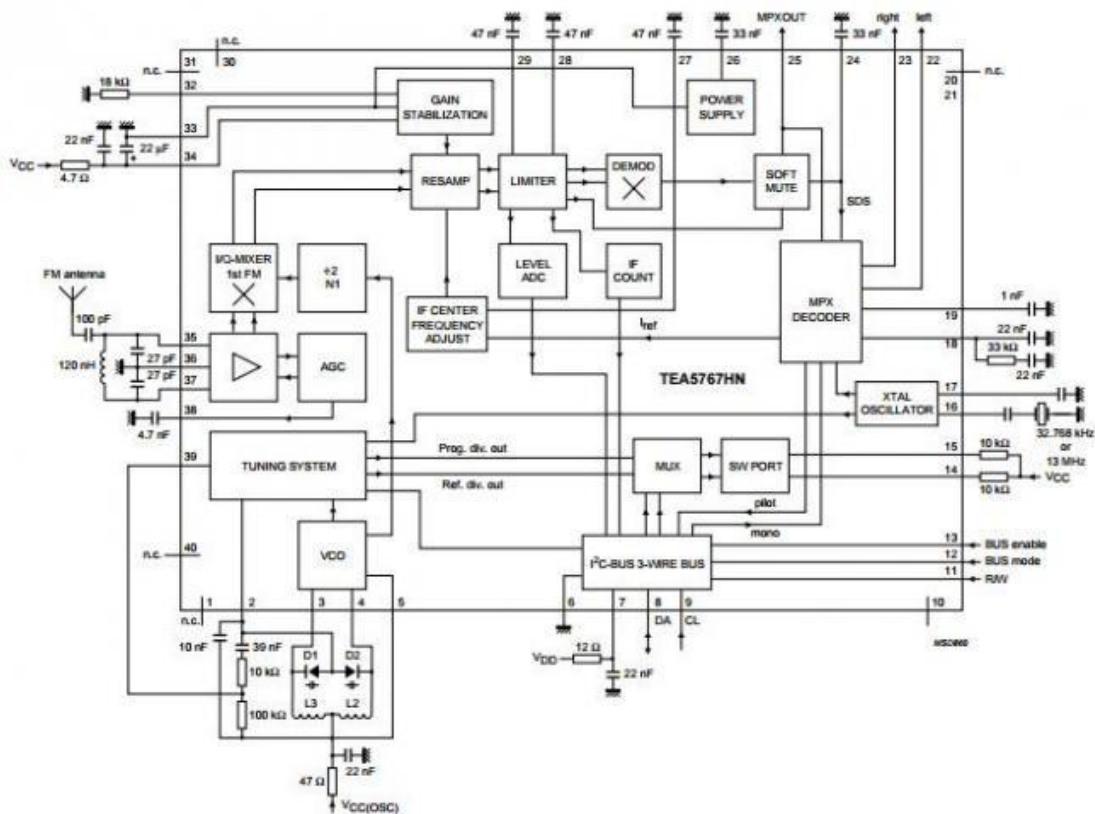
Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε στην δικιά τους εφαρμογή τον TEA5767HN κυρίως λόγω του μεγέθους, για είναι όσο γίνεται μικρότερο και επειδή διαβάζει και τα 2 πρωτοκολλά επικοινωνίας.



Εικόνα 4.15 –Το chip TEA5767

Το chip Με τους ακροδέκτες δείτε κάτω στο παράρτημα Θα δείτε το κάθε ρόλο του κάθε pin

4.7.1 ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ



Εικόνα 4.16 –Μπλοκ διαγραμμα

Το μπλοκ διάγραμμα απαρτίζεται από ένα σύνολο στοιχείων που θα τα περιγράψουμε ανάλογα με την πορεία του σήματος από την από την κεραία στην έξοδο ήχου.

Από την κεραία ραδιοκυμάτων το σήμα διοχετεύεται σε έναν ισορροπημένο χαμηλού θορύβου ενισχυτή(LNA),μέσω ενός RF κυκλώματος. Για να μην υπερφορτώσουμε τον ενισχυτή χαμηλού θορύβου και τον μίκτη του ενισχυτή το σήμα εξόδου μπαίνει σε έναν αυτόματο ρυθμιζόμενο κύκλωμα ελέγχου έντασης (AGC). Ένας μίκτης ραδιοφωνικού τετραγωνικού σήματος μετατρέπει ένα σήμα IF στα 225 KHz το οποίο το πολλαπλασιάζει με έναν τοπικό ταλαντωτή(LO).Η επιλεγμένη αρχιτεκτονική παρέχει υψηλή απόδοση στην αποβολή περι των σημάτων ή θορύβου. Ο VCO παράγει ένα σήμα με διπλή απαραίτητη συχνότητα για τον μίκτη I/Q. Στο blog που είναι αφιερωμένο στο N1, δημιουργείται το απαιτούμενο σήμα για τον τοπικό ταλαντωτή, Η συχνότητα του VCO ρυθμίζεται από ένα σύστημα σύνθεσης PLL.

Τα IQ σήματα βγαίνοντας από τον μίκτη μπαίνουν σε ένα αναπτυγμένο IF φίλτρο(REAMPblock) Η IF συχνότητα αυτό του φίλτρου ελέγχεται από το IF κέντρο συχνοτήτων στο γειτονικό block.Το IF Σήμα τότε περνάει από ένα block σταθμών, το οποίο αφαιρεί τις διαφορές της εντάσεως από το σήμα. Οι στάθμες είναι συνδεδεμένες με ένα επίπεδο ADC και IF μετρητή. Αυτά τα δύο παρέχουν τις πλήρεις πληροφορίες για την ένταση και συχνότητα, του ραδιοκύματος RF του σήματος εισόδου, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί από το PLL σαν κριτήριο Διακοπής .

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα περιέχει έχει έναν τετραγωνικό αποδιαμορφωτή με ενσωματωμένο συντονιστή . Ο στερεοφωνικός αποκωδικοποιητής(MPX) με τη σειρά του είναι ρυθμιζόμενος και μπορεί να μπει και σε μονοφωνική (mono) ρύθμιση από το bus interface(διεπαφή).Ο στερεοφωνικός απομονωτής θορύβου (SNC) λειτουργεί αυτόματα όταν ο σταθμός λαμβάνεται με χαμηλή ισχύ και μεταβαίνει από μια στερεοφωνική κατάσταση σε μονοφωνική, σε ελάχιστο χρόνο.

Αυτό είναι πολύ χρήσιμο για φορητό εξοπλισμό μιας και βελτιώνει την ακουστική επιλεκτικότητα του δέκτη υπό χαμηλές συνθήκες σήματος.

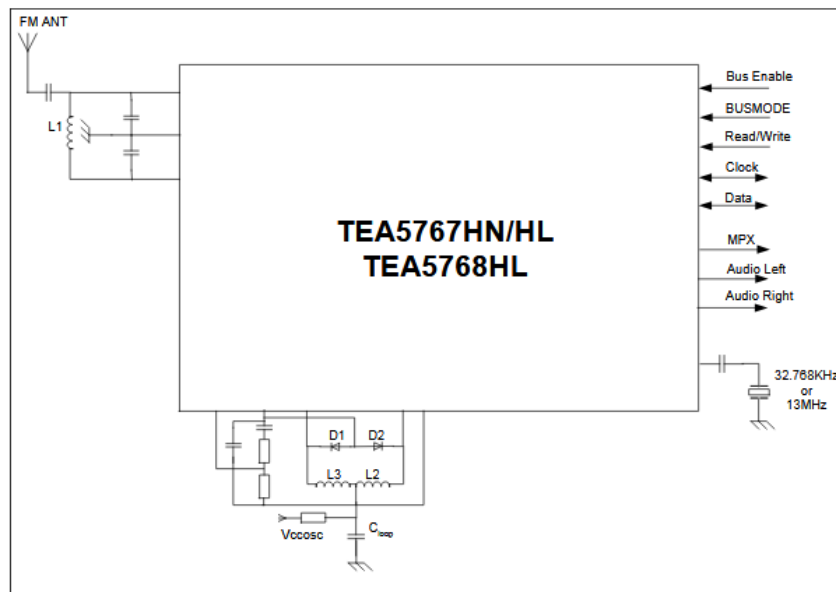
Η λειτουργία του συμπιέζει τον άχρηστο θόρυβο και αποτρέπει εκτεταμένους θορύβους από το να ακούγονται όταν η στάθμη του σήματος είναι σε χαμηλά επίπεδα. Το σύστημα συντονισμού είναι βασισμένο σε συμβατικές PLL τεχνικές. Αυτή είναι μία απλή μέθοδος, κατά την οποία η φάση και η συχνότητα του VCO συνέχεια διορθώνεται, με προσοχή, σε μία συχνότητα αναφοράς, μέχρι να απόκτηση το σήμα την σωστή συχνότητα. Η επικοινωνία μεταξύ του συστήματος συντονισμού και του εξωτερικού ελεγκτή είναι δυνατή μέσω ενός συστήματος τριαύλου επικοινωνίας ή I2C.

4.7.2 Εφαρμογή FM stereo

Αυτή η εφαρμογή συνδυάζει δύο βασικά κυκλώματα, την είσοδο ραδιοφωνικών συχνοτήτων και ένα κύκλωμα FM ταλαντωτή.

Η επικοινωνία με έναν προσωπικό υπολογιστή μπορεί με τους τρόπους που αναφέραμε και παραπάνω (I2C, 3bus) όπου υπάρχει επιλογή BUS MODE PIN. Οι δέκτες μπορούν να λειτουργήσουν με 32.768KHz ή 13MHz κρύσταλλο χρονισμού ο οποίος μπορεί να προγραμματιστεί από τους διαύλους επικοινωνίας. Το PLL θα έχει συχνότητα χρονισμού 6,5MHz. Τρία ακουστικά σήματα εξόδου είναι διαθέσιμα: αριστερό κανάλι, δεξί κανάλι η multiplex

ΤΟ βασικό διάγραμμα του FM δέκτη εμφανίζεται στην παρακατω εικόνα

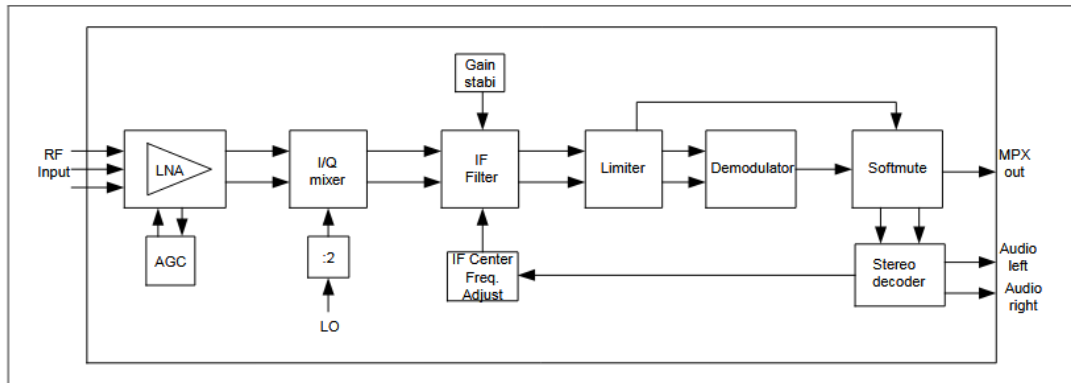


Εικόνα 4.17 –Βασικό διάγραμμα δεκτή

4.7.3 TEA5767hn

Το Τέα απαιτεί τρία βασικά block διαγράμματα το κανάλι σήματος, το σύστημα συντονισμού και το, πρωτόκολλο επικοινωνίας. Σε αυτό το κεφάλαιο το κανάλι σήματος θα περιγράψει συνοπτικά Το σύστημα συντονισμού και το σύστημα επικοινωνίας θα αναλυθούν στα επόμενα υποκεφάλαια

Στο παρακατω διάγραμμα παρουσιάζεται η διαδρομή του σήματος

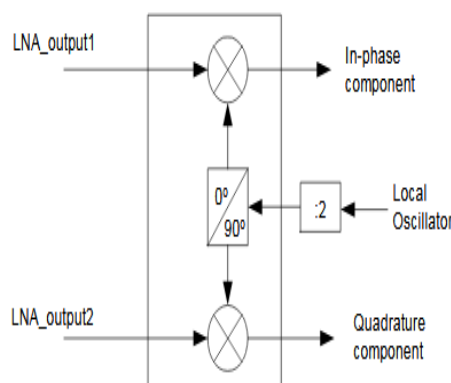


Εικόνα 4.18 –Διάγραμμα ροής σήματος

4.7.3.1 Ενισχυτής χαμηλού θορύβου

Το κύκλωμα μας έχει ενσωματωμένο έναν ενισχυτή χαμηλού θορύβου (LNA). Αυτός είναι ένας σταθεροποιημένος ενισχυτής ο οποίος είναι λιγότερο ευαίσθητος για κοινού τύπου θόρυβο. Η σύνθετη αντίσταση του ενισχυτή είναι (100 Ohm //4Pf) σε κάθε pin. Για να διαχειριστεί υψηλής στάθμης σήματα εισόδου η ενίσχυση του χαμηλού θορύβου ενισχυτή(LNA) ρυθμίζεται μέσω ενός αυτόματου ρυθμιστή ενίσχυσης(AGC). Ο AGC στο θα μπει σε λειτουργία όταν το σήμα της κεραίας φτάσει σε ένα επίπεδο, περίπου 4 mV για 40Ω αντίσταση κεραίας. Το εύρος του έχει ρυθμιστεί στα 40 db

4.7.3.2 Μίκτης



Εικόνα 4.19 –Ο μίκτης

Ο δέκτης TEA έχει έναν σύνθετο μικτή. Ο οποίος λαμβάνει δύο ραδιοσήματα κατευθείαν από τον ενισχυτή και οδηγεί δύο σήματα με μία ενδιάμεση συχνότητα των 225kHz. Το σήμα εξόδου του μικτή ορίζεται κατά φάση από ακροδέκτες σε 0° και τετραγωνίζει το σήμα σε 90°.

Θεωρητικά οι σύνθετοι μίκτες μπορούν να δημιουργήσουν μια τέλεια αποκοπή και δεν θα χρειάζονται φίλτρο αποκοπής.

4.7.3.3 *Επιλεκτικότητα ενδιάμεσης συχνότητας(IF selectivity)*

Η επιλεκτικότητα παρέχεται από ένα μεσοπερατό φίλτρο(BP filter) με χαμηλή ενδιάμεση συχνότητα (IF).

Το IF φίλτρο είναι ένα πλήρως ολοκληρωμένο, που έχει ως αποτέλεσμα, την επιλεκτικότητα χωρίς ευθυγράμμιση. Η κεντρική του συχνότητα είναι 225 KHz και έχει -3dB στο εύρος των 90KHz. Στα 200 khz από την κεντρική συχνότητα η επιλεκτικότητα του IF θα είναι περίπου 40 dB.

Περιοριστής

Ο περιοριστής είναι ένα συνεστραμμένο δίκτυο καλωδιώσεων που εν μέρει διαρρέονται από συνεχές ρεύμα (DC) και στο άλλο μέρος από την ανάδραση των πυκνωτών στις επαφές 28 και 29. Αυτοί οι πυκνωτές δημιουργούν ένα Χαμηλοπερατό φίλτρο.

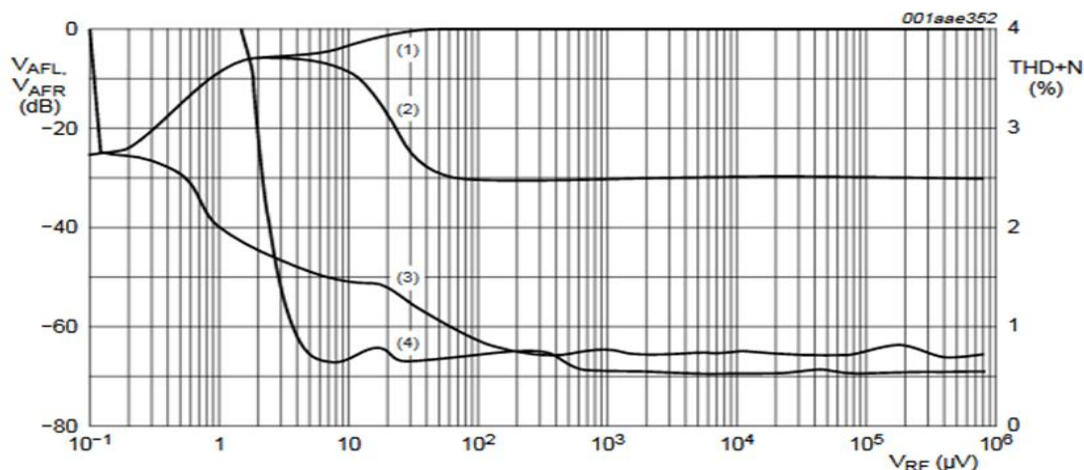
4.7.3.4 *Αποδιαμορφωτής*

Ο αποδιαμορφωτής είναι επίσης πλήρως αναπτυγμένο σύστημα. Το πλεονέκτημα του είναι ότι δεν χρειάζεται καμία επιπλέον ρύθμιση ή προσθήκη. Ο αποδιαμορφωτής έχει ένα συντελεστή μετατροπής της τάξης των 75mV στα 22,5 KHz.

4.7.3.5 *MPX αποκωδικοποιητής (PLL, ανιχνευτής του πιλοτικού σήματος, SNC, Matrix decoder, HCC)*

- Το **PLL** που μελετήσαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, λειτουργεί στα 228 kHz (12 * 19 kHz). Όταν χρησιμοποιούμε έναν κρύσταλλο της τάξης των 13MHz, ο VCO θα συντονιστεί στα 227,5 KHz. Ο ανιχνευτής φάση που ευαίσθητος στη συχνότητα μπορεί μόνο να επιταχύνει το VCO. Αφού το PLL συντονιστεί στη σωστή συχνότητα(228kHz), αυτομάτως θα απενεργοποιηθεί. Όταν η συχνότητα χρονισμού του κρυσταλλου αλλάξει, η αρχή λειτουργίας θα διατηρηθεί. Ο διαιρέτης οδηγεί ένα τετραγωνικό σήμα 19KHz, το οποίο θα πολλαπλασιαστεί με ένα φασματικό εξάρτημα του σήματος πολυπλέκτη(MPX). Θα πρέπει να δοθεί προσοχή στους πυκνωτές που θα χρησιμοποιηθούν στο φίλτρο ανάδρασης (loop filter at pin 18). Οποιαδήποτε διαρροή ρεύματος από αυτούς τους πυκνωτές θα επηρεάσει το PLL και το VCO θα χάσει τη σταθερότητα του, καθώς και το εύρος της επιλεκτικότητας του ως προς την λειτουργία του θα αναλυθεί λίγο καλύτερα στο επόμενο υποκεφάλαιο
- ο **ανιχνευτής του πιλοτικού σήματος**, όπου πιλοτικό σήμα ισούται με την φέρουσα συχνότητα. Μέσω ενός κυκλώματος διαιρέτη, ο PLL θα οδηγήσει τα 19KHz, Αυτό το σήμα θα πολλαπλασιαστεί με τη φέρουσα συχνότητα στον πολυπλέκτη σήματος. Αυτό θα παράγει ένα DC σήμα που θα είναι ανάλογο της έντασης του πιλοτικού σήματος. Το φίλτρο θα αφαιρέσει την ακουστική πληροφορία και τα 38KHz αντίστοιχα. Κάθε 7bit από 3 byte δίνει στοιχεία για τη στερεοφωνική πληροφορία. Όταν αυτό το bit έχει μεγάλη τιμή το στερεοφωνικό σήμα θα περνάει σε μονοφωνικό,

- Η στερεοφωνική απομόνωση ήχο(SNC) που ονομάζεται και SDS θα ενεργοποιηθεί, θα μεταβάλει το σήμα από στέρεο σε μονοφωνικό με αποτέλεσμα την χαμηλή στάθμη σήματος. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να περιοριστεί ο θόρυβος στην έξοδο του αποκωδικοποιητή. Επίσης όταν υπάρχει απώλεια πιλοτικού σήματος ή όταν το SDS είναι ρυθμισμένο να λαμβάνει απόλυτα mono σήματα, ρυθμίζοντας το SNC(on-off) το ακουστικό αποτέλεσμα δεν θα αλλάξει, Το SDS μπορεί να ελεγχθεί μέσω των διαύλων από το bit 1 των data byte 4. Παρακατω δίνεται μια τυπική μέτρηση ηχητικού σήματος και του θορύβου με SNC on και off

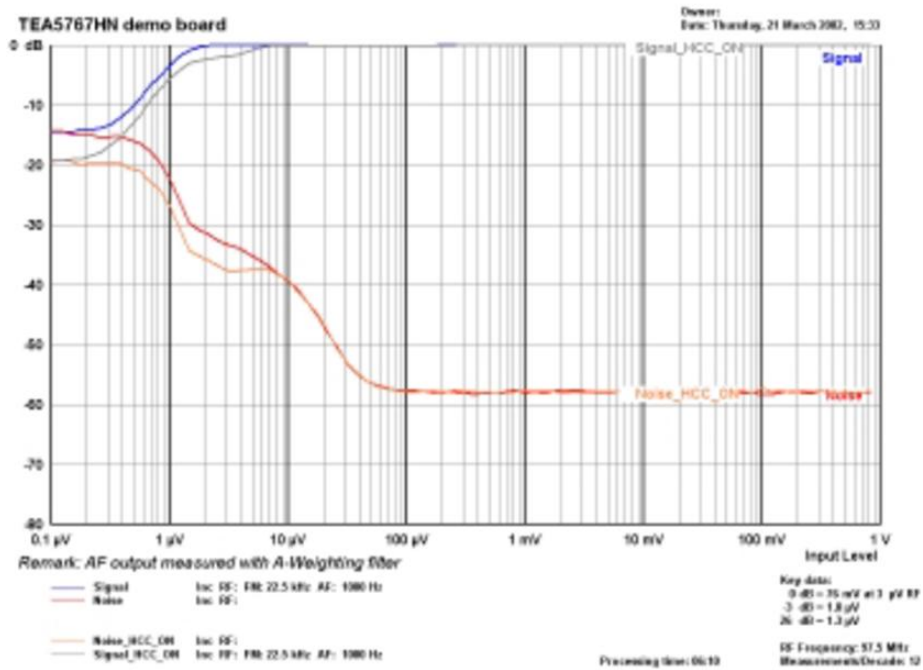


- (1) Right channel with modulation right, SNC on, $\Delta f = 67,5 \text{ kHz} + 6,75 \text{ kHz pilot}$.
- (2) Left channel with modulation left, SNC on, $\Delta f = 67,5 \text{ kHz} + 6,75 \text{ kHz pilot}$.
- (3) Noise in stereo mode, SNC on, $\Delta f = 0 \text{ kHz} + 6,75 \text{ kHz pilot}$.
- (4) Total Harmonic Distortion (THD), $\Delta f = 67,5 \text{ kHz} + 6,75 \text{ kHz pilot}$.

Εικόνα 4.20 - Η Επίδραση του SNC ως προς σήμα και τον θόρυβο

- Ο **Matrix decoder** υπολογίζει στο ακουστικό σήμα, αριστερά και το δεξιά σήματα και τα οδηγεί έξω από το ολοκληρωμένο κύκλωμα IC μέσω του PIN 22 και 23.
- Ο ελεγκτής υψηλών ηχητικών συχνοτήτων (**HCC**) είναι μία επιλογή, η οποία δίνει την πιθανότητα να περιορισθούν οι υψηλές συχνότητες από το ακουστικό σήμα όταν αυτό λαμβάνεται με χαμηλή ισχύ. Το HCC μπορεί να ρυθμιστεί μέσω του διαδρόμου από το bit 2 to data byte 4.

Παρακάτω περιγράφεται η επιρροή του HCC στο ακουστικό σήμα και στο θόρυβο

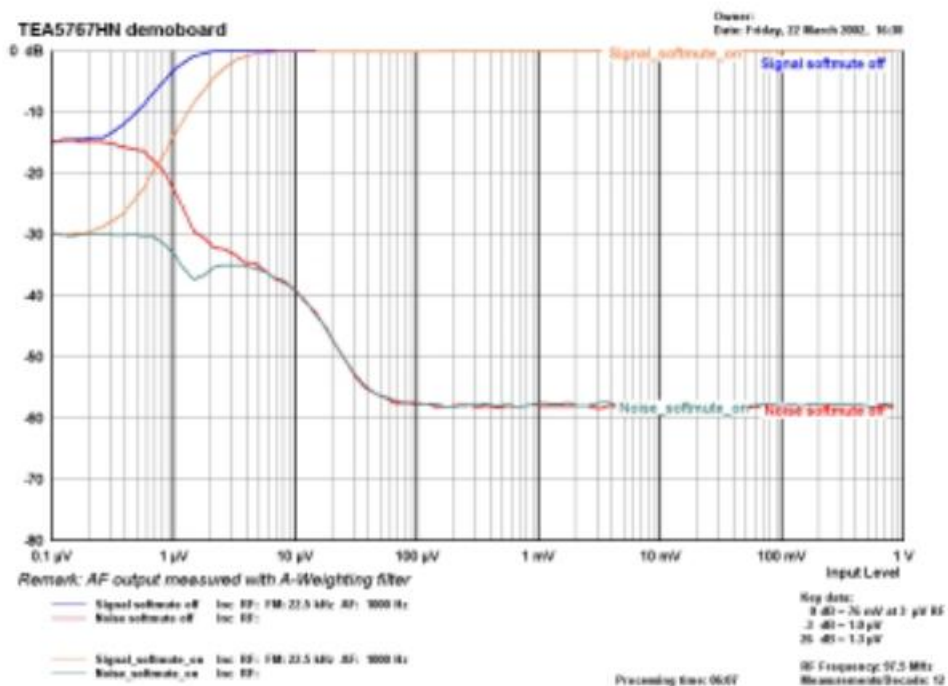


Εικόνα 4.21 – Η επιρροή του HCC στο ακουστικό σήμα

4.7.3.6 ευσαιθησία σίγασης

Το ραδιοφωνικό σήμα μπορεί να εισέλθει στο δέκτη στην είσοδο σε χαμηλό επίπεδο ,κατά τον τρόπο αυτόν που μπορεί η συνολική ενέργεια του θορύβου στο ακουστικό εύρος συχνοτήτων να είναι μεγαλύτερη από το ακουστικό σήμα (AF). Όταν ενεργοποιηθεί η ελεγχόμενη σίγαση(softmute) θα περιορίσει την ενέργειά του θορύβου στο ακουστικό φάσμα συχνοτήτων, Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη πιστότητα στο ακουστικό σήμα

Το softmute δέχεται εντολές μέσω του διαύλου επικοινωνίας. Ρυθμίζοντας το τρίτο bit το byte 4 .



Εικόνα 4.22 –Η επίδραση της σίγασης στο σήμα και τον θόρυβο στην έξοδο του ήχου

4.8 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ TEA

Το σύστημα συντονισμού του tea5767 είναι βασισμένο στο PLL. Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα μελετήσουμε τις διαδικασίες του PLL, το επίπεδο adc και ο μετρητής ενδιάμεσων συχνοτήτων IF θα περιγράψουν στη συνέχεια

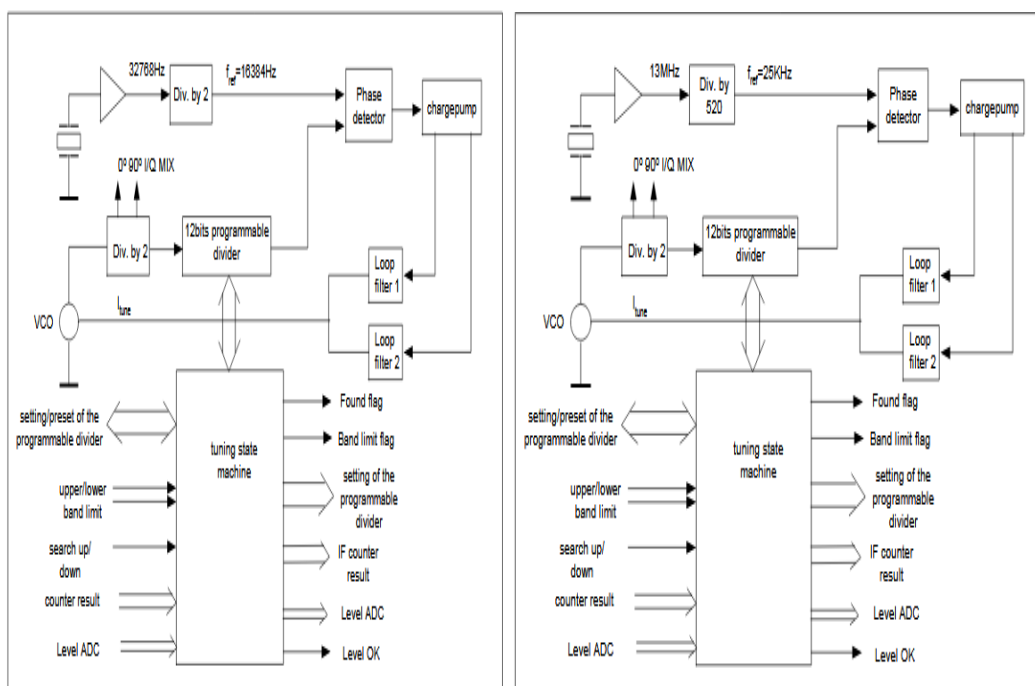
4.8.1 PLL

Το PLL, είναι μια πολύ απλή ιδέα στην οποία ο προγραμματιζόμενος διαχωριστής αυξάνεται ή μειώνεται σταδιακά έως ότου βρεθεί ένα σήμα.

Το σήμα εξόδου στον αναλυτή φάσης από τον προγραμματιζόμενο διαιρέτη συγκρίνεται με μία συχνότητα αναφοράς. Ο αναλυτής φάσης ενεργοποιεί μία γεννήτρια φορτίου, η οποία μέσω ενός φίλτρου ανατροφοδότησης μεταφέρει το απαιτούμενο φορτίο στον VCO. Το PLL χρησιμοποιεί δύο φίλτρα ανατροφοδότησης με διαφορετική χρονική δομή. Στο πρώτο στάδιο της ανατροφοδότησης, πρέπει να έχει γρήγορη ανταπόκριση και αργότερα η ανατροφοδότηση θα πρέπει να έχει μικρό εύρος θορύβου με σκοπό να πετύχει καλό σήμα σε σχέση με το θόρυβο.

Το PLL μπορεί να λειτουργήσει είτε στα 32,768 KHz ή 13 MHz κρύσταλλο χρονισμού. Η Συχνότητα των 13MHz χρησιμοποιείτε σε κινητά τηλέφωνα έτσι ώστε να μην απαιτητέ ένας άλλος εξωτερικό κρύσταλλο για μία τέτοια εφαρμογή.

Παρακάτω βλέπουμε τα αντίστοιχα block διαγράμματα του συστήματος συντονισμού στα 13 MHz και στα 32768hz



Εικόνα 4.23 –Συστήμα συντονισμού (32768Hz)

σύστημα συντονισμού (13MHz)

Σε αντίθεση με τα περισσότερα συστήματα συντονισμού που χρησιμοποιούν μία ενδιάμεση συχνότητα 10.7 MHz, Το TEA μπορεί να χρησιμοποιήσει μία χαμηλότερη μέση συχνότητα στα ΠΑΔΑ, ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, Διπλωματική Εργασία, ΜΠΑΛΛΑΣ ΤΙΣΙΑΝΟ

225kHz. Αυτό είναι και το κομμάτι που μας που εξασφαλίζει τη μείωση του κόστους της κατασκευής καθώς και της ανάγκης για ρεύμα. Επιπλέον, ο δέκτης μπορεί να λειτουργήσει με δύο τρόπους: υψηλή πλευρική έγχυση ή χαμηλή πλευρική έγχυση. Η επιλογή μιας από αυτές τις δύο ρυθμίσεις καθορίζει τη θέση του τοπικού ταλαντωτή ως προς την επιθυμητή συχνότητα. Αυτή η επιλογή προστέθηκε για την πρακτική επιτυχία της αποσυμπίεσης εικόνας που μπορεί να έχει επιτευχθεί. Στα διαγράμματα η εικονική συχνότητα βρίσκεται στα 450kHz (2*if) απόσταση πιο πάνω η πιο κάτω της επιθυμητής συχνότητας. Στο λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να θέσει το δέκτη σε λειτουργία έγχυσης υψηλής πλευράς HILO= 1 Και αντίστοιχα για χαμηλή πλευρά έκθεση HILO=0 Το HILO bit είναι το bit 4 του data byte 3

PLL δυαδική αρίθμηση

Για να ρυθμίσουμε το ραδιόφωνο σε μία επιθυμητή συχνότητα, η PLL δυαδική λέξη πρέπει να ρυθμιστεί. Η δυαδική λέξη αποτελείται από 14 bit που θα σταλούν στον προγραμματιζόμενο διαιρέτη

1. υψηλή πλευρά έκθεσης Δεκτή

$$N_{DEC} \equiv \frac{(4 * (F_{RF} + F_{if}))}{F_{REFS}} \quad (4,1)$$

Οπού το NDEC= η καθορισμένη τιμή σε δεκαδικούς αριθμούς, FRF= Η επιθυμητή συχνότητα συντονισμού, Fif=Η ενδιάμεση συχνότητα FREFS=συχνότητα αναφοράς.

Στην ψηφιακή μορφή μέσω ενός υπολογιστή εφαρμόζεται με τον παρακατω τύπο

$$PLL \equiv ROUND \left[\frac{4 * (TunedFrequency * 1000 + F_{if})}{\frac{REF[XTAL]}{1000}} \right] \quad (4,2)$$

Οπού PLL=NDEC, TunedFrequency=FRF., REF [XTAL] =συχνότητα αναφοράς σε KHZ η οποία εξαρτάται από την επιλογή της συχνότητας ταλαντωτή, Ορίζουμε την Fif με τιμή 225KHZ

XTAL	PLL REF	Συχνότητα αναφοράς VCO	συχνότητας κρυστάλλου
0	0	50000HZ	13 MHz
0	1	50000HZ	6.5 MHz
1	0	50000HZ	32.768KHZ
1	1	50000HZ	32.768KHZ

Πίνακας 4.4 Πίνακας δυαδικής αρίθμησης

Τώρα που το PLL έχει αριθμηθεί Σε δεκαδικό(DEC) πρέπει να μεταφραστεί σε δεκαεξάρικό(HEX) σύστημα πριν σταλθεί στο σύστημα συντονισμού. Παραδειγμα Εάν συχνότητα συντονισμού στα 100MHz, η λέξη του PLL θα υπολογιστεί ως εξής

$$PLL_{DEC} \equiv ROUND \left[\frac{4 * (100 * 1000 + 225)}{\frac{50000}{1000}} \right] = 8018$$

$$PLL_{HEX} \equiv 1F52 \quad (4,3)$$

Μελέτη & Κατασκευή Ραδιοφωνικού Δέκτη βασισμένου σε Μικροελεγκτή
 2. χαμηλή πλευρά έκθεσης Δεκτής

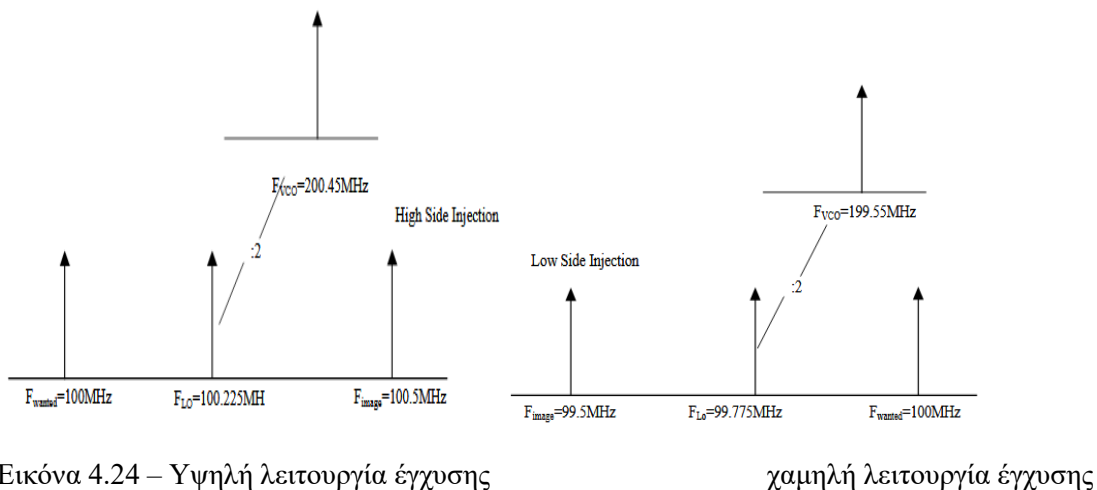
$$N_{DEC} \equiv \frac{4 * (F_{RF} - F_{IF})}{F_{REFS}} \quad (4,4)$$

Για το ίδιο παραδειγμα με την υψηλή πλευρά έχουμε

$$PLL_{DEC} \equiv ROUND \left[\frac{4 * (100 * 1000 - 225)}{\frac{50000}{1000}} \right] = 7982$$

$$PLL_{HEX} \equiv 1F2E \quad (4,5)$$

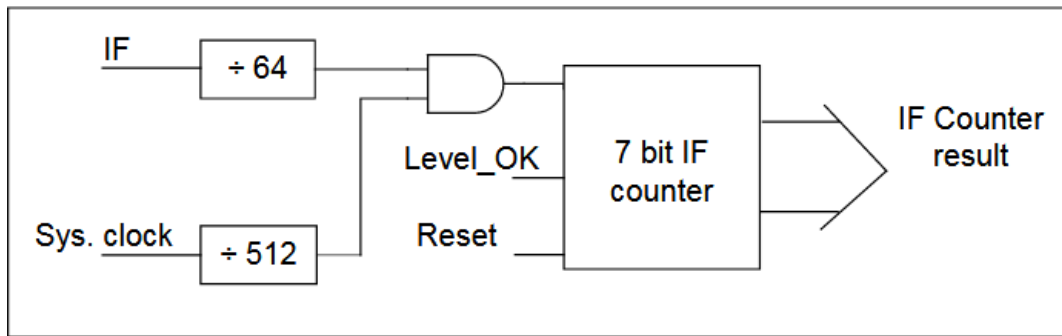
στο παρακατω σχήμα απεικονίζεται την συχνότητα συντονισμού ας όταν εφαρμόζεται η λειτουργία έγχυσης υψηλής και χαμηλής πλευράς



Εικόνα 4.24 – Υψηλή λειτουργία έγχυσης

χαμηλή λειτουργία έγχυσης

4.8.2 IF Μετρητής



Εικόνα 4.25 – IF μετρητής

Για να μετρήσουμε την ενδιάμεση συχνότητα (225)KHz Του δέκτη, το σύστημα συντονισμού χρησιμοποιεί 7bit μετρητή μέσης συχνότητας (IF COUNTER) Κατά τη διάρκεια ενός χρονικού περιθωρίου, ο μετρητής συχνότητας θα μετρήσει το πεπερασμένο μέσης συχνότητα σήμα. Ο μετρητής έχει διακριτική ικανότητα 15,75ms μέσω ενός 13Mhz κρύσταλλου και 15,625ms για κρύσταλλο 32,768 khz, με ανάλυση 4062,5hz και αντίστοιχα 4096hz.

Αν level_ok_signal=1 η μηχανή κατάστασης του συστήματος συντονισμού θα εκκίνηση τον IF COUNTER. Στο τέλος της χρονικής διάρκειας μέτρησης ο μετρητής θα παράξει μία τιμή η οποία είναι πολλαπλάσια της μέσης συχνότητας. Το αποτέλεσμα του μετρητή θα οδηγηθεί στο σύστημα συντονισμού για αξιολόγηση. Το αποτέλεσμα του μετρητή είναι επίσης διαθέσιμο στους διάλους επικοινωνίας. Για να διαβάσετε το αποτέλεσμα πρέπει να ακολουθηθούν οι επόμενες πράξεις

1. Εγγραφή στο δρομολογητή
2. Μετά την λειτουργία εγγραφής το αποτέλεσμα θα είναι έτοιμο μετά από 27 ms. Αναμονή μέχρι τα δεδομένα να είναι διαθέσιμα για το δρομολογητή
3. Διαβάστε το αποτέλεσμα

Επειδή στον IF μετρητή η συχνότητα δεν ανανεώνεται αυτόματα, απαιτητέ κάθε φορά μία πράξη ανάγνωσης. Στο τέλος ο IF μετρητής θα επανεκκινηθεί και η διαδικασία μπορεί να ξεκινήσει ξανά

IF input [kHz]	Counter result	
	F _{xtal} flag = 1	F _{xtal} flag = 0
200	31	30
225	34	37
250	3F	3F

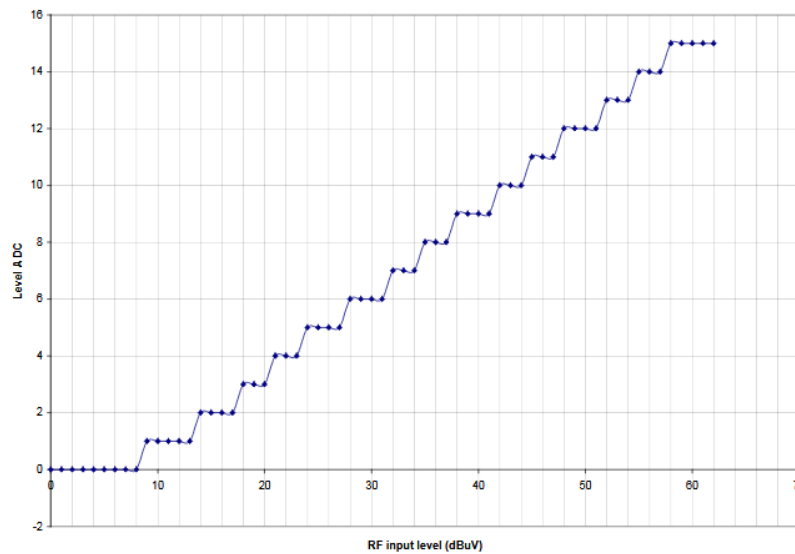
Πίνακας 4.5 IF μετρητή

4.8.3 Επίπεδο ADC

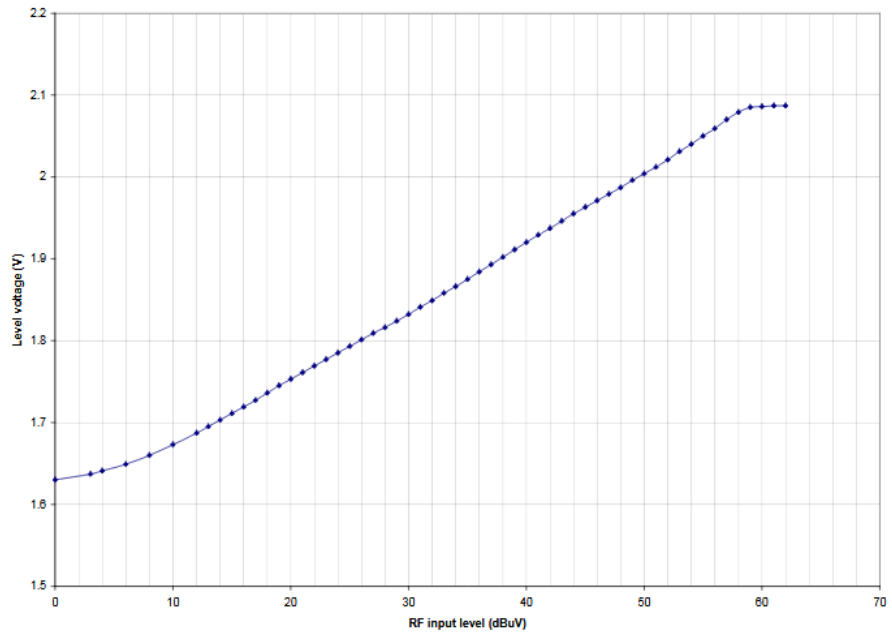
Το επίπεδο ADC block είναι ένας αναλογικός μετατροπέας σε ψηφιακό (ADC), ο οποίος δίνει την αναπαράσταση από εύρος των ραδιοφωνικών σημάτων εισόδου (RF INPUT). Αυτό το σύστημα λειτουργεί με 4 Bits ADC, με αύξηση 3 dB ανά bit. Η εμβέλεια του μπορεί να ρυθμιστεί μέσω των διαύλων από τα bit 4, 5, 6 και 7 του data byte 4

Μία τυπική μέτρηση του επιπέδου ADC περιγράφεται στο σχήμα ADC Level 1. Ακριβώς από κάτω του βλέπουμε ένα παραδειγμα του επιπέδου ADC που μπορεί να μετρηθεί στο TMUTE, pin 24. Διαμορφώνεται ένα φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων, η αντίσταση εξόδου είναι πολύ υψηλή περίπου στα 400 kΩ και μαζί με έναν πυκνωτή 33 nF διαμορφώνεται ένα φίλτρο χαμηλών συχνοτήτων, το οποίο φιλτράρει τις διαφορές πλάτους. Αυτό το πολύ υψηλό Ωμικό φορτίο εξόδου μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας μόνο μία συσκευή με αρκετή υψηλή αντίσταση (πχ FET).

Δίνει μία τυπική καμπύλη του επιπέδου ADC σε λειτουργία για είσοδο ραδιοφωνικών σημάτων επιπέδου ($V_{cc}=2,7$ V). Ακόμη και όταν δεν υπάρχει σήμα εισόδου το επίπεδο εξόδου σε dc είναι περίπου 1,64 volt, όπως βλέπουμε αφού φτάσει σε μια μέγιστη τιμή το σήμα εισόδου του, το σήμα σταθεροποιείται στην έξοδο,



Εικόνα 4.26 –Τυπική μέτρηση ADC

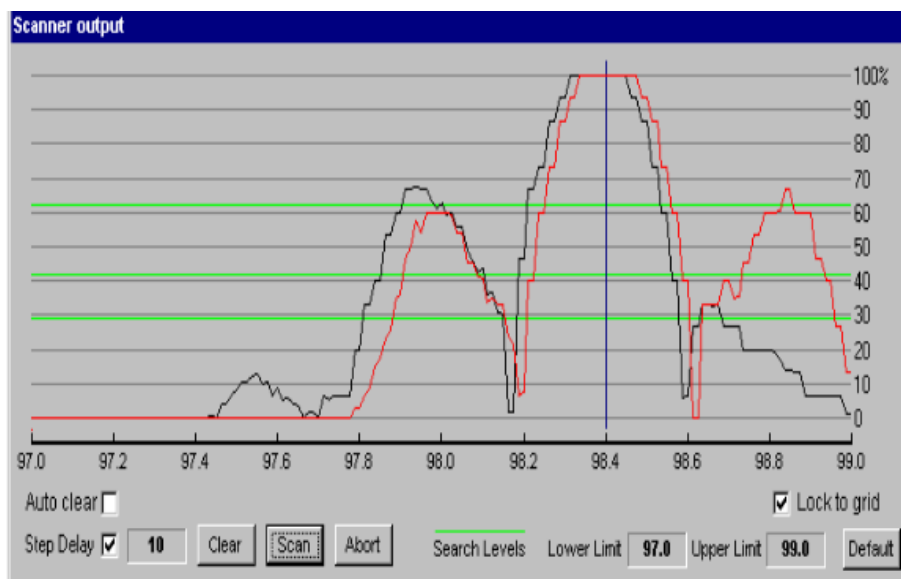


Εικόνα 4.27 - επίπεδο ADC ως συνάρτηση επιπέδου εισόδου RF με $V_{cc}=2.7$ volt

4.8.4 Αλγόριθμος συντονισμού (Προεπιλεγμένη λειτουργία, Λειτουργία αναζήτησης)

Το σύστημα συντονισμού μπορεί να ξεκινήσει μία αυτόνομη αναζήτηση, η αλλιώς με τον κλασικό τρόπο αναζήτησης στο μ Control. Όταν ο συντονιστής λάβει ένα αίτημα αναζήτησης το bit 6 του data byte 1 ρυθμίζεται και θα ξεκινήσει την αναζήτηση στην μπάντα των FM, μέχρι να βρεθεί μία συχνότητα ή να επιτευχθεί το όριο ζώνης. Όπως προαναφέραμε σε αυτή την παράγραφο ο δέκτης μας λειτουργεί με υψηλή ή χαμηλή πλευρικές ικανότητες μέσω του HILObit (bit 4, data byte 3) μέσω των Διαύλων επικοινωνίας. Σε κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες η επιλεκτικότητα μιας εκ των δύο πλευρών δεν είναι δυνατή.

Αυτή είναι μία περίπτωση υψηλής ποιότητας σημάτων που εμπλέκονται, όπως παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα,

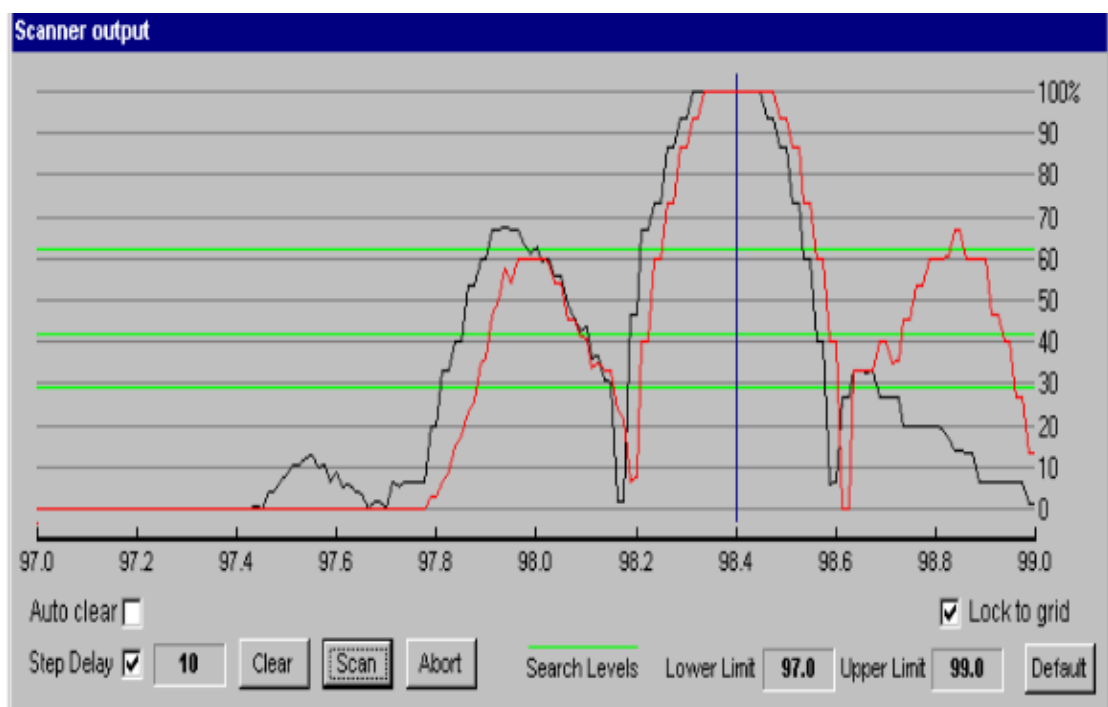


Εικόνα 4.28 - επίδραση των υψηλών / χαμηλών πλευρικών σε ισχυρά σήματα

Ένας σταθμός συντονίζεται στα 98MHz με τάση σήματος 100μV. Παράλληλα βλέπουμε να συντονίζεται ένας γειτονικός σταθμός στα 98,4 MHz με σήμα εξόδου επιπέδου 2,5mV/ Για HILO=1(Μαύρη Γραμμή)η αναπαράσταση των 98,4MHz βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον επιθυμητό σταθμό των 98 MHz, υπερκαλύπτοντας τον επιθυμητό σταθμό. ΓΙΑ HILO=0(κόκκινη γραμμή) καμία παρεμβολή δεν ακούγεται στα 98 MHz. Ο ανεπιθύμητος σταθμός πλέον μπορεί να ξαναβρεθεί στους 98, 85MHz.Στο λογισμικό ο ακόλουθος αλγόριθμος χρησιμοποιείται για να ρυθμίσουμε το HILO Στις τιμές που θέλουμε

1. Ορίζουμε το HILO σε 1
2. Ρυθμίζουμε την επιθυμητή συχνότητα + 450 kHz: ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΤΟΣ =ΥΨΗΛΟ
3. Ρυθμίζουμε την επιθυμητή συχνότητα - 450 kHz: ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΗΜΑΤΟΣ = ΧΑΜΗΛΟ
4. ΑΝ το υψηλό επίπεδο σήματος < χαμηλό επίπεδο σήματος τότε HILO=1 αλλιώς HILO =0

Στις δεδομένες καταστάσεις κανένα πρόβλημα δεν υπάρχει με την εύρεση σταθμών καθώς οι εικονικές συχνότητες δεν στο Πεδίο αναζήτησης των 100 KHz. Αν αυξηθεί η τάση του σήματος του επιθυμητού σταθμού πάνω από 3 mV ψευδές στάσεις μπορεί να δημιουργηθούν λόγω ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων στον μίκτη του FM καναλιού του FM .



Εικόνα 4.29 -Παραδειγμα αλγορίθμου συντονισμού

Τώρα δύο διαφορετικές στάσεις έχουν εμφανιστεί στα 98,1MHz(HILO=1) και στα 98,7MHz(HILO=1) Για να τις απορρίψουμε όπως πριν ακολουθήμε την παρακατω διαδικασία

1. Υπολογίζουμε το επίπεδο όταν η αναζήτηση έχει σταματήσει για Level= 1
2. Αλλάζουμε HILO bit και ξαναμετράμε το επίπεδο ξανά για Level 2 και επίσης διαβάζουμε τα αποτελέσματα του μετρητή IF = IFC
3. η ρύθμιση είναι σωστή όταν επιβεβαιώνεται η ακόλουθη διαδικασία
4. Απόλυτη τιμή του $(level1-level2) < 2$ και $\$31 < IFC < \$3E$ μικρότερο του

- Προεπιλεγμένη λειτουργία (Preset mode)

Για να συντονίσετε το δέκτη σε μία επιθυμητή συχνότητα πρέπει να γίνουν οι ακόλουθες πράξεις.

Αρχικά, πρέπει να υπολογιστεί το PLL όπως είδαμε στο παραπάνω κεφάλαιο, Εάν η υψηλή πλευρά είναι επιθυμητή το HILO BIT=1 αλλιώς 0. Αυτές οι πληροφορίες πρέπει να σταλούν στο δέκτη. Άλλες πληροφορίες που μπορούν επίσης να σταλούν είναι για ενεργοποίηση / απενεργοποίηση του softmute (bit 3 data byte 4), HCC (bit 2 data byte 4) και SNC (bit 1 data byte 4) κ.α.

- Λειτουργία αναζήτησης (search mode)

Για να γίνει μία αυτόνομη αναζήτηση, τα bit σίγασης(MUTE) και αναζήτησης(SEARCH) θα ρυθμιστούν, την ίδια στιγμή η συχνότητα πρέπει να αυξηθεί ή να μειωθεί από κατά ένα βήμα. Η κατεύθυνση της αναζήτησης και το πότε θα σταματήσει μπορούν να επιλέγουν.

Η πληροφορία μπορεί να αποσταλεί στον ψηφιακό συντονιστή και το λογισμικό ελέγχου πρέπει να συνεχίσει να διαβάζει μέχρι το bit READY=1. Σε αυτή την περίπτωση ένας σταθμός FM έχει βρεθεί ή έχει επιτευχθεί όριο ζώνης. Στην τελευταία περίπτωση επίσης η σημαία περιορισμένου εύρους θα είναι υψηλή (bit 6 του data byte 1 σε κατάσταση έρευνας). Το software τότε πρέπει να μεταφέρει την συχνότητα σε ένα άλλο εύρος μπάντας και να ξεκινήσει μία νέα αναζήτηση. Στο τέλος κάθε αναζήτησης το bit MUTE σε θα πρέπει να μηδενιστεί ξανά. Όταν εντοπιστεί κάποια διακοπή, ο αλγόριθμος HILO θα ελέγξει εάν η διακοπή είναι έγκυρη και να βρει την καλύτερη ρύθμιση είτε για ανώτερη είτε για κατώτερη πλευρική ζώνη.

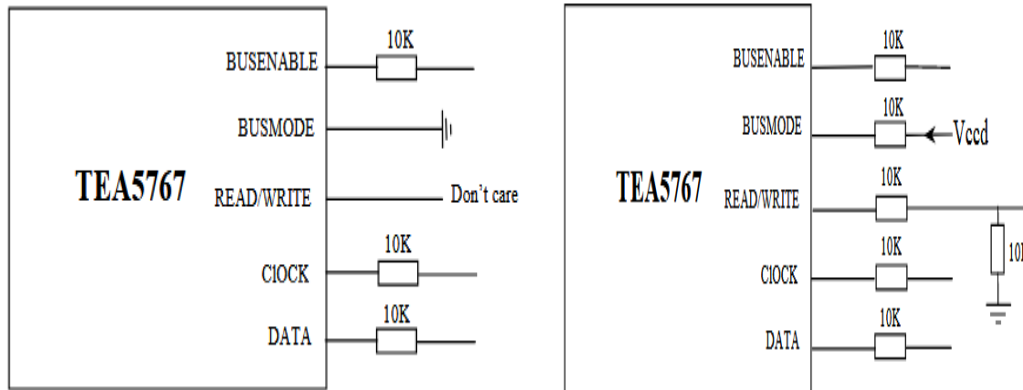
Bit 6 of data byte 3	Bit 5 of data byte 3	Ισχύς πεδίου	Επίπεδο ADC
0	0	Δεν χρη/ποιείται	Δεν μας ενδιαφέρει
0	1	χαμηλή	0101
1	0	μεσαία	0111
1	1	υψηλή	1010

Πίνακας 4.6 αλγορίθμου συντονισμού

Πρέπει να προσέξουμε ο αλγόριθμος να μην καταλήξει σε μία άπειρες επαναλήψεις όταν δεν βρίσκουμε σταθμό FM. Αυτό μπορεί να γίνει είτε χαμηλώνοντας το επίπεδο εύρεσης σταθμών, είτε βγαίνοντας από το βρόχο όταν το όριο ζώνης επιτευχθεί για δεύτερη φορά.

4.9 επικοινωνία TEA5767HN

Το TEA5767HN μπορεί να επικοινωνήσει με τον εξωτερικό ελεγκτή μέσω ενός διαύλου ενσωματωμένο πάνω στην πλακέτα .Ο δέκτης υποστηρίζει 2 πρωτοκολλά επικοινωνία (**I2C**) και 3ων καλωδίων(**3-BUS**) , επιλέγεται μέσω του pin του BUSMODE. Ο δίαυλος επικοινωνίας επικοινωνεί με το σύστημα μέσω πέντε ακροδεκτών (pins). Η λειτουργία κάθε ακροδέκτη περιγράφεται από κάτω.



Πρωτόκολλο επικοινωνίας i2c

πρωτόκολλο επικοινωνίας (3 bus)

- Το σήμα **BUS ENABLE** πρέπει να ενεργοποιηθεί προτού πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε μεταφορά δεδομένων μέσω του διαύλου. Εάν ο ακροδέκτης BUS ENABLE είναι χαμηλός(Low), η επαφή απενεργοποιείται. Όταν το bit βρίσκεται σε αναμονή (bit 6 , data byte 4) είναι σε κατάσταση HIGH και ο ακροδέκτης BUS ENABLE είναι σε κατάσταση LOW , το ρεύμα αναμονής του IC μπορεί να μειωθεί κάτω από 10μΑ.
- **BUSMODE** (είσοδος):Με αυτόν τον ακροδέκτη επιλέγουμε το πρωτόκολλο . Όταν ο ακροδέκτης BUMODE είναι συνδεδεμένος στην γείωση τότε σημαίνει ότι λειτουργεί με πρωτόκολλο I2C ,ΑΝ είναι βρίσκεται σε κατάσταση HIGH τότε λειτουργεί με το σύστημα του τριαύλου επικοινωνίας (3 wire bus)
- επιλογή εγγραφής ανάγνωσης (**READ WRITE input**):όταν το bit =1 (θετικό) επιτρέπεται η μεταφορά δεδομένων στο ολοκληρωμένο κύκλωμα. Ήταν είναι 0 (αρνητικό) επιτρέπεται η μεταφορά δεδομένων από το ολοκληρωμένο κύκλωμα .Αυτός ο ακροδέκτης δεν λειτουργεί για πρωτόκολλο i2c
- εισοδου χρονισμού(**CLOCK input**):Είναι για την χρονική διάρκεια που κάνει το σήμα μέσα και έξω από τον καταχώρηση
- Δεδομένα εισοδου εξόδου (**DATA INPUT OUTPUT**)Ο ακροδέκτης αυτός επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων από και προς το κύκλωμα μας .Μέσω του λογισμικού διαβάσει έγγραφα τα δεδομένα ανά πάσα στιγμή και χωρίς να
- διακόψει τη λειτουργία αναζήτησης. Όταν εγγράφουν δεδομένα , θα διακόψει τη λειτουργία αναζήτησης και τα δεδομένα που αποστέλλονται θα καθορίσουν τη νέα κατάσταση.

4.10 I2C ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ

Το I2C δημιουργήθηκε από τη Philips αποτελεί ένα πρωτόκολλο, που χρησιμοποιείται για την διασύνδεση μεταξύ διαφορετικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων όπως είναι οι μικροελεγκτές και άλλων ολοκληρωμένων ψηφιακών συστημάτων κάποια από αυτά είναι η EEPROM, ANALOG/DIGITAL μετατροπέας driver για ψηφιακές οθόνες κλπ. . Οι εφαρμογές σε ασύρματα μέσω τυπωμένων κυκλωμάτων στις συσκευές καθώς και ενσύρματα τόσο σε motherboards ,κινητά τηλεφωνα modems dipswitches και άλλες ηλεκτρονικές συσκευές ,μπορεί να χρησιμεύσει αλλά και στην επικοινωνία των αισθητήρων θερμοκρασίας με τις οθόνες, όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων , ο διάυλος αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο το πρωτόκολλο I2C μεταδίδει τα δεδομένα σειριακά. Με το I2C μπορούμε να γλυτώσουμε τη χρησιμοποίηση ενός παράλληλου διαύλου δεδομένων, που θα προκαλέσει μεγάλη πολυπλοκότητα στη σχεδίαση, αλλά και έχει και μεγαλύτερο κόστος. Επιτυγχάνει ταχύτητες, που μπορούν να φτάσουν μέχρι και 3.4Mbps, και οι οποίες είναι ικανές για την ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσα σε κόμβους, που το μήκος του μεταξύ τους καλωδίου είναι μερικές δεκάδες μέτρα μήκος αρκετά ικανό, αν θεωρήσουμε ότι οι αποστάσεις συνήθως δεν ξεπερνάνε τα μερικά μέτρα .Η υλοποίηση του I2C επιτυγχάνετε με την χρήση δύο καλωδίων διπλής κατεύθυνσης. Τα δύο αυτά καλώδια είναι το SDA (Serial Data), που χρησιμοποιείται για την μεταφορά δεδομένων, και το SCL (Serial Block), που χρησιμοποιείται για ρολόι. μήκος του διαύλου (bits) μπορεί να φτάσει τα 3 με 4 μέτρα, αλλά μπορεί και να αυξηθεί με τους λεγόμενους bits extenders έως και τα 100m

Κάθε bit δεδομένων που μεταφέρεται στη γραμμή SDA συνοδεύεται και από έναν παλμό ρολογιού στη γραμμή SCL. Η μέγιστη συχνότητα λειτουργίας μπορεί να φτάσει τα 400kHz. Στο διάυλο θα μπορούν να συνδεθούν μέχρι 128 συσκευές λαμβάνοντας και αποστέλλοντας δεδομένα. Ωστόσο περιορισμοί ως προς τον αριθμό των συσκευών που μπορούν να συνδεθούν υπάρχουν και προκύπτουν από τη συνολική χωρητικότητα που μπορεί να αποκτήσει ο διάυλος, η οποία δεν μπορεί να είναι περισσότερο από 400pF ένας άλλος περιορισμός είναι και ως προς τις διευθύνσεις οι οποίες περιοδόντιά στα 7bits Οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο διάυλο είναι ανοιχτού συλλέκτη και όταν είναι σε αδράνεια βρίσκονται σε κατάσταση υψηλής σύνθετης αντίστασης. Όταν όλες οι συσκευές είναι σε αδράνεια οι γραμμές του διαύλου βρίσκονται σε υψηλή στάθμη, λόγω αντιστάσεων πρόσδεσης που υπάρχουν σε αυτές.

Οι συσκευές που συνδέονται στο διάυλο χαρακτηρίζονται master οι οποίοι έχουν την ευθύνη διαχείρισης του διαύλου masters έχουν την ευθύνη διαχείρισης του διαύλου, και ως slave οι οποίοι αποκρίνονται στις αιτήσεις των masters. Η διαδικασία με την οποία στέλνει ο master τα δεδομένα του ,αρχικά ελέγχει πρώτα ότι ο πρώτα ότι ο διάυλος είναι ελεύθερος, τότε ξεκινάει την αποστολή στις συσκευή αποσειόντας παλμούς ρολογιού στην SCL, και τοποθετώντας την SDA σε χαμηλή στάθμη low Στη συνέχεια στέλνει τη διεύθυνση του παραλήπτη, η οποία αποτελείται από 7 bits, ένα bit ελέγχου εγγραφής/ανάγνωσης (R/W) και ένα απόκρισης (ACK). Ποιο αναλυτικά

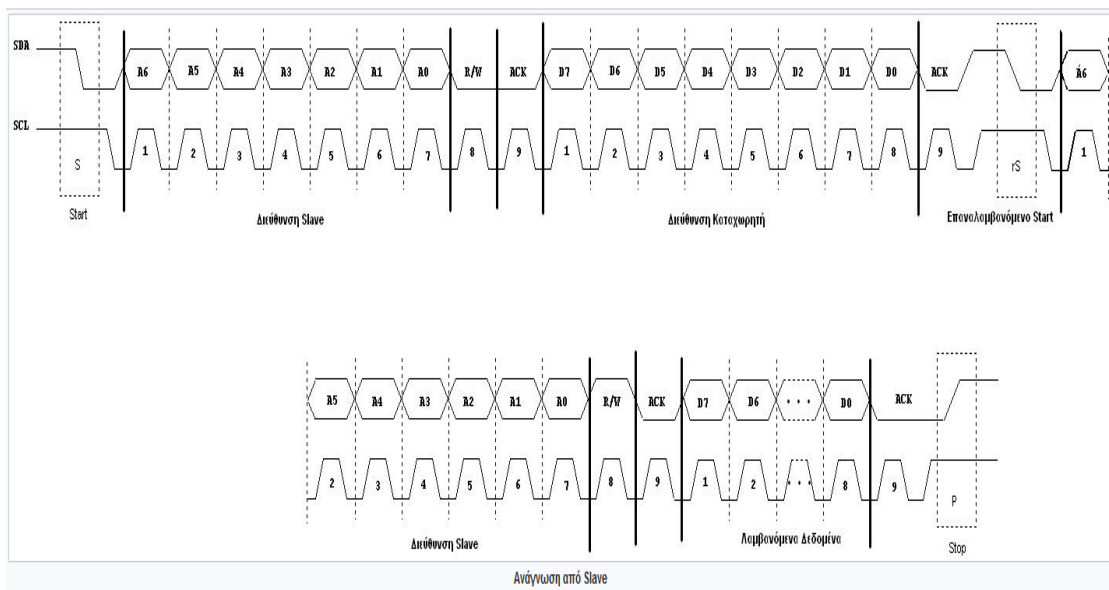
1. Στέλνει την ακολουθία έναρξης
2. Στέλνει την διεύθυνση της slave συσκευής με το R/W bit σε low και δηλώνει ότι θέλει να κάνει εγγραφή στέλνοντας δεδομένα στη slave.
3. Στέλνει την διεύθυνση του εσωτερικού καταχωρητή στον οποίο θέλει να γράψει
4. Στέλνει το byte δεδομένων

5. Στέλνει (προαιρετικά) οποιοδήποτε αριθμό επιπλέον byte

6. Στέλνει την ακολουθία λήξης

Τώρα για την διαδικασία ανάγνωσης για την επιτύχουμε πρέπει πρώτα να την πληροφορήσουμε ποιον εσωτερικό καταχωρητή θέλει να διαβάσει, για να ξεκινήσει η ανάγνωση από την slave συσκευή πρέπει να ξεκινήσουμε με εγράφη σε αυτήν δηλαδή ο παραλήπτης θα αναγνωρίσει ότι διευθυνσιοδοτείται, στη συνέχεια απαντάει τοποθετώντας την SDA σε χαμηλή στάθμη low κατά τη διάρκεια του ACK. Η απάντηση αναγνωρίζεται από τον master και στη συνέχεια αυτός στέλνει τα δεδομένα που θέλει, μέχρι να τερματίσει ο ίδιος τη μετάδοση, τοποθετώντας και τις δύο γραμμές σε υψηλή στάθμη. Σε περίπτωση τώρα που κάποιος παραλήπτης δεν προλαβαίνει να δεχτεί τα δεδομένα που του αποστέλλονται οπότε και θα την απελευθερώνει, , ποιο αναλυτικά τα βήματα που ακολουθεί είναι :

1. Στέλνει την ακολουθία
2. Στέλνει την διεύθυνση της slave συσκευής με το R/W bit
3. Στέλνει την διεύθυνση του εσωτερικού καταχωρητή από τον οποίο θέλει να διαβάσει, σ
Στα παραπάνω βήματα γράφεται ο καταχώρησης-δείκτης της slave συσκευής,
4. Στέλνει πάλι την ακολουθία έναρξης (rS-repeated Start)
5. Στέλνει πάλι την διεύθυνση της slave συσκευής με το R/W bit high για να δηλώσει ότι επιθυμεί ανάγνωση
6. Διαβάζει τα δεδομένα .Μετά από την λήψη κάθε byte, η συσκευή που λαμβάνει επιβεβαιώνει (ACK) τη λήψη.
7. Στέλνει την ακολουθία λήξης (Stop)



Εικόνα 4.31 –Κυματομορφές I2C

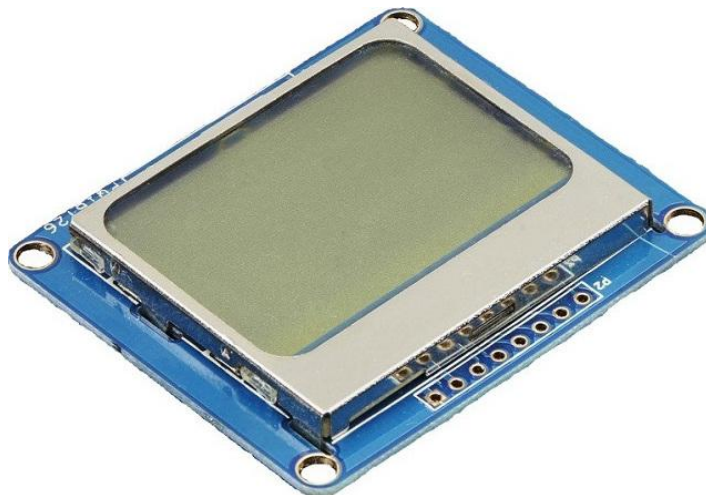
5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

5.1 Υλικά

Τα υλικά που μας χρειάστηκαν εδώ είναι εκτός από το Arduino nano , και τον δεκτή Tea5767 που αναλύσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια είναι τα παρακάτω.

1. Οθόνη NOKIA 5110 LCD

Εδώ έχουμε μια LCD μονόχρωμη οθόνη 1,6 ιντσών , η οποία έχει σχεδιαστεί από την nokia, αρχικά σαν οθόνη κινητών τηλεφώνων και είναι τοποθετημένη πάνω σε μια PCB πλακέτα .Η ανάλυση που έχει η συγκεκριμένη οθόνη είναι στα 84x84. Περιέχει τον μικροελεγκτή PCD8544 ο οποίος είναι ένας ελεγκτής τύπου cmos LCD χαμηλής ισχύος , οποίος καταναλώνει σε ενεργή κατάσταση μόλις 400 μ A . ενώ σε κατάσταση αναμονής αυτή η τιμή πέφτει ακόμα περισσότερο στα 60 μ A . Η οθόνη για να συνδεθεί με το υπόλοιπο κύκλωμα χρειάζεται μόνο 8 καλώδια ,καθώς τα άλλα εξαρτήματα τα έχει ενσωματωμένα εσωτερικά . ο λόγος που χρησιμοποιούμε αυτή η οθόνη είναι το πολύ μικρό μέγεθος της , η μικρή κατανάλωση ρεύματος , και το χαμηλό κόστος της.



Εικόνα 5.1 – Οθόνη LCD

2. Κύκλωμα Ενισχυτή LM386

Αυτό το κύκλωμα μας χρειάζεται, ώστε να ενισχύσουμε το σήμα μας στην έξοδο του δεκτή . Θα μπορούσαμε να παραλείψουμε αυτό το κομμάτι και να συνδέσουμε το ηχείο αμέσως στην θέση για τα ακούστικα , αλλά δεν θα έβγαζε καθαρό ήχο λόγο του θορύβου . Θα συνδεθεί στο tea5767 εκεί που έχει έξοδο για ακούστικα και στην έξοδο του θα συνδεθεί το ηχείο .



Εικόνα 5.2 - Ενισχυτής LM386

3. 2 ποτενσιόμετρα 10K

Το ένα μας χρειάζεται για τον συντονισμό συχνότητας και το άλλο για την ένταση του ήχου

4. Ηχείο 3watt

Για την ακρόαση του ήχου

5. Καλώδια

Για την συνδεσμολογία

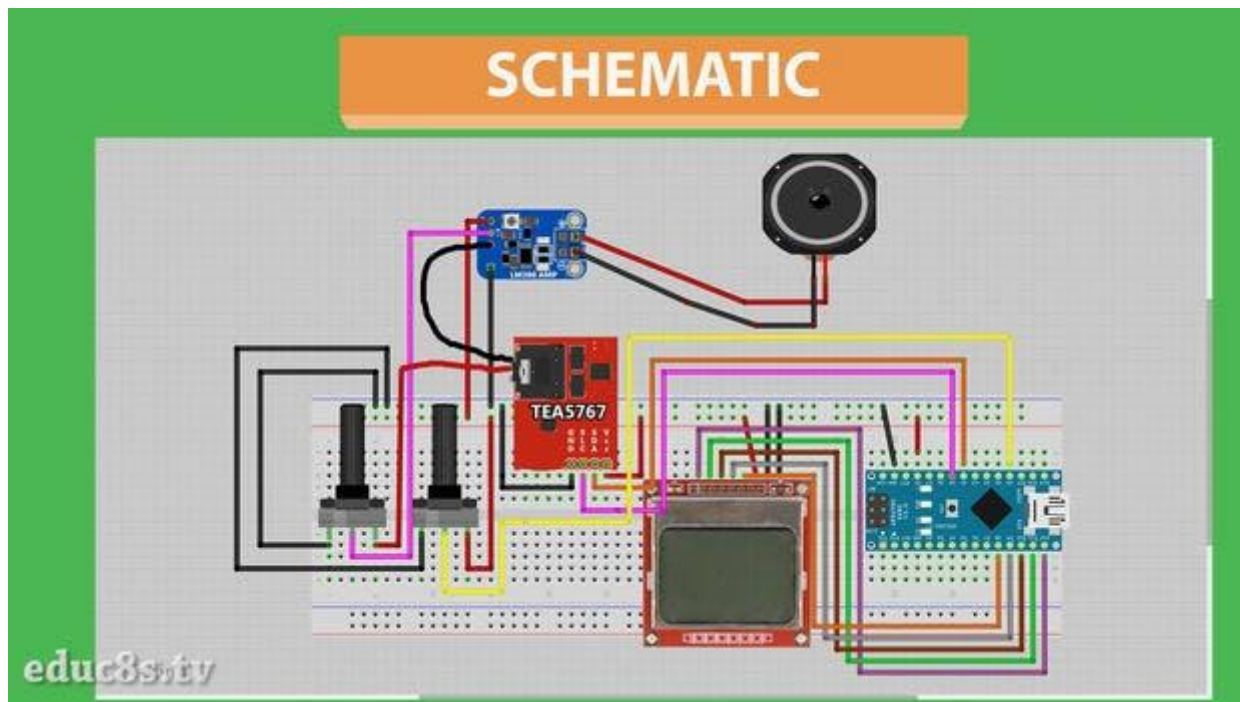
6. Καλώδιο Audio

Για την έξοδο του ήχου

7. Breadboard

Για να πραγματοποιήσουμε το κύκλωμα

5.2 Υλοποίηση κυκλώματος

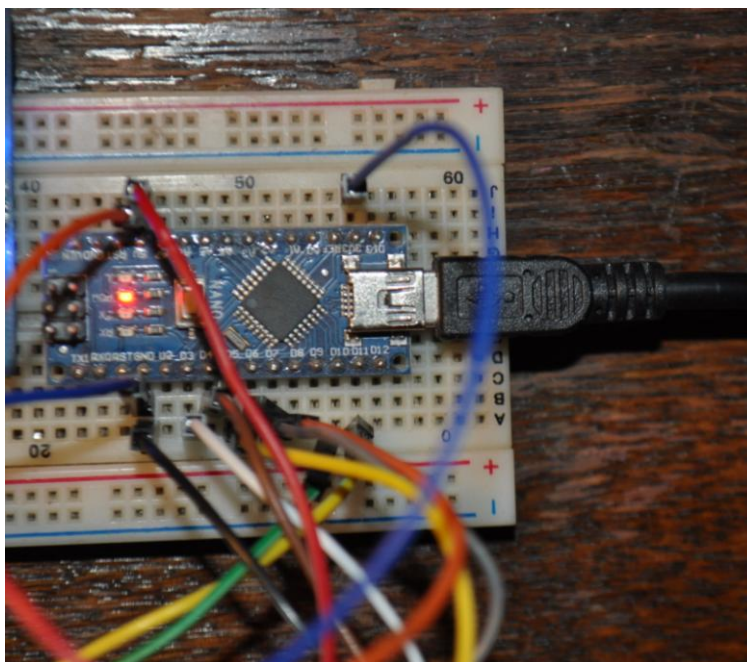


Εικόνα 5.3 – Το σχέδιο του κυκλώματος

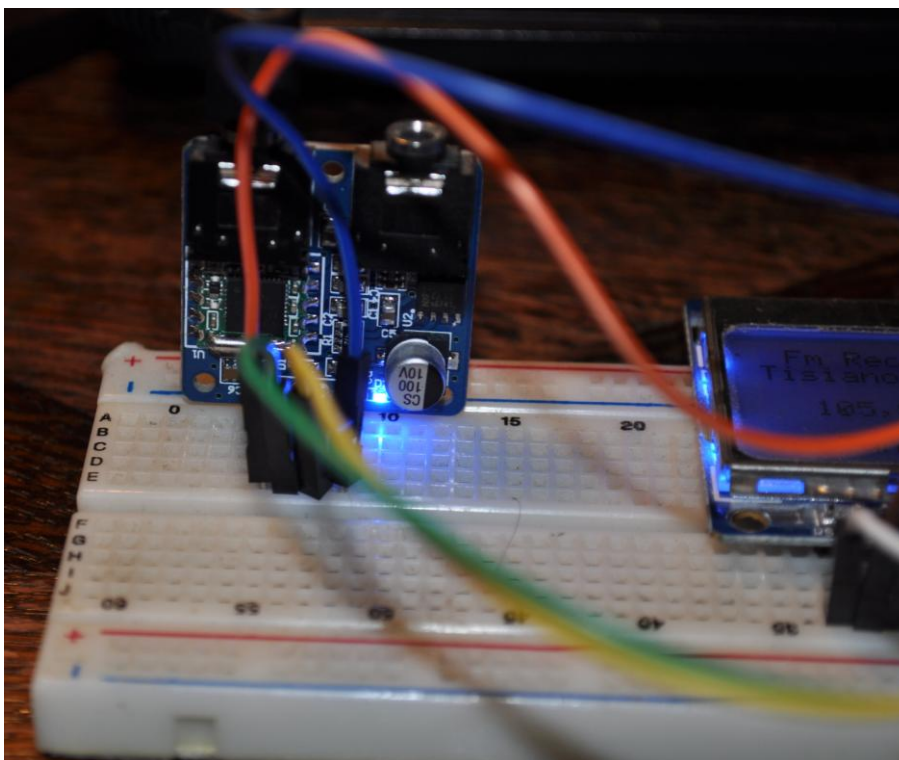
Υλοποιήθηκε το πρόγραμμα με απλό και σύνθετο τρόπο . στον απλό τρόπο μας χρειάζονται ο δέκτης μας , το arduino και η οθόνη και απλά μας εμφανίζει το αποτέλεσμα στην οθόνη μαζί με ένα μήνμα που έχουμε ορίσει ενώ στο σύνθετο είναι το παραπάνω σχέδιο κυκλώματος.

5.2.1 Υλοποίηση απλού κυκλώματος

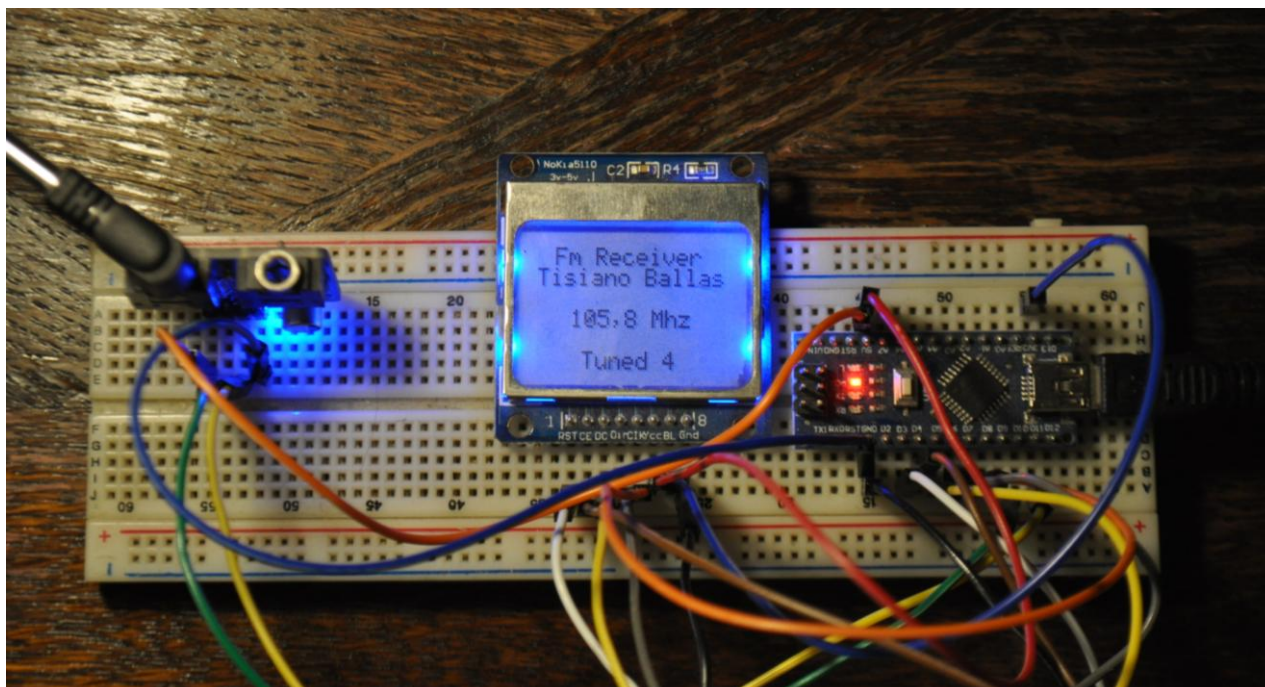
Αφού τοποθετήσαμε τα 3 εξαρτήματα που αναφέραμε παραπάνω και κάναμε τις συνδεσμολογίες όπως θα δούμε και παρακάτω



Εικόνα 5.4 – Συνδεσμολογια απλού κυκλώματος Arduino



Εικόνα 5.5 – Συνδεσμολογία απλού κυκλώματος tea5767



Εικόνα 5.6 – Τελική συνδεσμολογία απλού κυκλώματος

5.2.2 Υλοποίηση συνθέτου κυκλώματος βήματα

Παρακατω βλέπουμε τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσουμε για να κάνουμε την συνδεσμολογία του κυκλώματος

- Βήμα 1^ο τοποθετούμε όλα τα εξαρτήματα πάνω στο breadboard.
- Βήμα 2^ο συνδέουμε τις γειώσεις από όλα τα εξαρτήματα πάνω στην γείωση - του breadboard και αντίστοιχα όλα τα Vcc τους στον + του breadboard ,εξαιρώντας μόνο το ποτενσιόμετρο της έντασης το οποίο θα συνδεθεί πάνω στην έξοδο του TEA5767
- Βήμα 3^ο συνδέουμε τους ακροδέκτες του TEA5767 , ο ακροδέκτης SLC συνδέεται με το στον analog pin 5 του Arduino Nano και αντίστοιχα ο SDA πηγαίνει στον analog pin 4. Συνδέουμε το τ μεσαίο ποδαράκι του ποτενσιόμετρου της συχνότητας με το analog pin 0.
- Βήμα 4^ο συνδέουμε το καλώδιο audio την μια μεριά με την έξοδο της μονάδας που είναι στο LM487 ,η αλλιώς μπορούμε να συνδέσουμε αμέσως το ηχείο .Από την μια πλευρά απογυμνώνουμε το καλώδιο και περιλαμβάνει μέσα 4 καλώδια .Τα 4 καλώδια είναι επειδή το καλώδιο μπορεί να υποστηρίξει και στερεοφωνικό ήχο , εμείς όμως στην δικιά μας περίπτωση μας θα χρησιμοποιήσουμε μόνο ένα καναλι ήχου αρά θα χρειαστούμε 2 καλώδια. Το ένα καλώδιο είναι η γείωση , το άλλο θα συνδεθεί με το δεξί ποδαράκι του ποτενσιόμετρου έντασης .
- Βήμα 5^ο βγάζουμε καλωδίωσής για την τροφοί του κυκλώματος στο + και στην γείωση
- Βήμα 6^ο τώρα συνδέουμε τους ακροδέκτες της οθόνης .Το RST συνδέεται στο Digital Pin 12 του Arduino, Το CE συνδέεται στο Digital Pin 11 του Arduino, Το DC συνδέεται στο Digital Pin 10 του Arduino, Το DIN συνδέεται στο Digital Pin 9 του Arduino ,Το CLK συνδέεται στο Digital Pin 8 του Arduino, Το VCC συνδέεται στη τροφοδοσία του Arduino στα 3.3V, Το LIGHT συνδέεται στο Arduino GND και ανάβει το λαμπάκι, Το GND συνδέεται στη γείωση του Arduino
- Βήμα 7^ο Τροφοδοτούμε την πλακέτα και ανάβει η οθόνη εμφανίζοντας ένα μήμα που έχουμε ορίσει για 3 δευτερόλεπτα ,μετα μπορούμε να απολαύσουμε τον ήχο .

5.3 Κώδικας

Αφού ανοίξαμε το λογισμικό του arduino , πηγαίμε στα εργαλεία και επιλέξαμε την πλακέτα arduino nano .Στη συνέχεια γράψαμε τον βασικό κωδικα ώστε γίνει ορθά η επικοινωνία του arduino nano με την υπόλοιπη πλακέτα .

Προγραμματισμός tea

```
#include <TEA5767N.h> //https://github.com/mroger/TEA5767 εδώ ορίζει την βιβλιοθήκη για το τσιπ TEA5767N
```

```
#include <LCD5110_Graph.h> //http://www.rinkydinkelectronics.com/library.php?id=48
```

Εδώ ορίζει την βιβλιοθήκη γραφικών Nokia lcd5110

```
LCD5110 lcd(8,9,10,12,11); αρχικοποίηση οθόνης lcd
```

```
TEA5767N radio = TEA5767N(); αρχικοποίηση
```

```
extern unsigned char BigNumbers[]; φτιάχνει πίνακες με μεγάλους αριθμούς
```

```
extern unsigned char TinyFont[]; φτιάχνει πίνακα για το φόντο
```

```
extern uint8_t splash[];
```

```
extern uint8_t signal5[];
```

```
extern uint8_t signal4[];
```

```
extern uint8_t signal3[];
```

```
extern uint8_t signal2[];
```

```
extern uint8_t signal1[];
```

φτιάχνει 6 πίνακες

```
int analogPin = 0; Αρχικοποιεί με 0 την μεταβλητή analog pin
```

```
int val = 0; αρχικοποιείται την μεταβλητή val
```

```
int frequencyInt = 0; αρχικοποιείται σε ακέραιους την συχνότητα
```

```
float frequency = 0; αρχικοποίηση σε δεκαδικούς την συχνότητα
```

```
float previousFrequency = 0; Αρχικοποιεί σε δεκαδικούς την προηγούμενη συχνότητα
```

```
int signalStrength = 0; η ισχύς του σήματος αρχικοποιεί σε ακέραιο
```

```
void setup() φτιάχνει συνάρτηση που δεν επιστρέφει, με τις ρυθμίσεις του δέκτη
```

```
{  
  radio.setMonoReception(); για μονοφωνικό δέκτη  
  radio.setStereoNoiseCancellingOn(); για στερεοφωνικό δέκτη  
  initScreen(); αρχικοποίηση οθόνης  
  showSplashScreen();  
  Serial.begin(9600); σειριακή αρχή  
}
```

Παραπάνω αρχικοποιούμε το module του ραδιοφώνου και βάζουμε όπως φαίνεται στον κωδικα την splash screen, η οποία έχει σχεδιαστεί στο Photoshop , για 3 δευτερόλεπτα .

void loop() { σε αυτή τη συνάρτηση λούπας γίνεται ανάγνωση της τιμής του ποτενσιόμετρου κάθε λίγα ms

for(int i;i<30;i++) επαναλαμβάνει έναν ακέραιο για 30 φορές

```
{  
  val = val + analogRead(analogPin); προσθέτει στην μεταβλητή το val με το analog pin  
  delay(1); καθυστέρηση ενός δευτερολέπτου  
}
```

Αφού πραγματοποιηθεί η διαδικασία 30 φορές η αξία του val θα είναι μεγαλύτερη από 30

val = val/30; Η μεταβλητή του val διαιρείται με το 30 και αποθηκεύεται με στην μνήμη νέα μεταβλητή

frequencyInt = map(val, 2, 1014, 8700, 10700); //Analog value to frequency from 87.0 MHz to 107.00 MHz εδώ πέρα μετατρέπεται η αναλογική τιμή του ποτενσιόμετρου και το κάνουμε map σε συχνότητα

float frequency = frequencyInt/100.0f; η μεταβλητή παίρνει την τιμή του πηλίκου της διαίρεσης της διαίρεσης μεταξύ της τιμής μεταβλητής frequencyint δια 100

if(frequency - previousFrequency >= 0.1f || previousFrequency - frequency >= 0.1f) εφόσον η τιμή δεν είναι σταθερή / συνέχεια , πρέπει να την κάνουμε να είναι σταθερή οπότε μέσω της if ορίζουμε να αλλάζει συχνότητα μόνο αν έχει αλλάξει η τιμή της αρκετά

αν η διαφορά της αφαίρεσης της τιμής της συχνότητας με την προηγούμενη συχνότητα είναι μεγαλύτερη >=0,1 η αντίστροφα είναι μεγαλύτερη >=0,1

```
{  
  lcd.clrScr();
```

Μελέτη & Κατασκευή Ραδιοφωνικού Δέκτη βασισμένου σε Μικροελεγκτή

radio.selectFrequency(frequency); εφόσον η συχνότητα έχει αλλάξει σημαντικά ,εδώ ρυθμίζουμε το module σε αυτή την συχνότητα .

printSignalStrength(); παίρνουμε την ισχύς του σήματος

printStereo(); την εμφανίζει στην οθόνη

printFrequency(frequency); εμφανίζουμε στην οθόνη την επιλεγμένη συχνότητα

previousFrequency = frequency;

}

lcd.clrScr();

printSignalStrength();

printStereo();

printFrequency(frequency);

delay(50);

val = 0;

} εδώ πέρα μηδενίζεται η αναλογική τιμή που εισάγετε από το ποτενσιόμετρο

void initScreen()

{

lcd.InitLCD();

lcd.setFont(BigNumbers);

lcd.clrScr();

}

Η συνάρτηση αυτή αρχικοποιεί την οθόνη

void showSplashScreen()

{

lcd.drawBitmap(0, 0, splash, 84, 48);

lcd.update();

delay(3000);

lcd.clrScr();

lcd.update();

}

Η συνάρτηση Αρχικοποιεί την splashscreen που έχει δημιουργηθεί από το Photoshop

`void printFrequency(float frequency)` δημιουργεί **μια συνάρτηση void που δεν επιστρέφει για την συχνότητα**

```
{  
    String frequencyString = String(frequency,1);  
    if(frequencyString.length() == 4)  
    {  
        lcd.setFont(BigNumbers);  
        lcd.print(frequencyString,14,12);  
        lcd.update();  
    }  
    else  
    {  
        lcd.setFont(BigNumbers);  
        lcd.print(frequencyString,0,12);  
        lcd.update();  
    }  
}
```

}εδώ έχουμε μια συνάρτηση if ,η οποία ανάλογα με το μήκος της μεταβλητής frequency τυπώνει το αντίστοιχο μήνυμα – τιμή

```
void printStereo()  
{  
    boolean isStereo = radio.isStereo();  
    if(isStereo)  
    {  
        lcd.setFont(TinyFont);  
        lcd.print("STEREO",55,2);  
    }  
}
```

}αν έχουμε στερεοφωνικό ήχο, με μικρότερη γραμματοσειρά τυπώνεται ο STEREO χαρακτήρας

```
void printSignalStrength()  
{  
    signalStrength = radio.getSignalLevel();  
    String signalStrengthString = String(signalStrength);  
}
```

Μελέτη & Κατασκευή Ραδιοφωνικού Δέκτη βασισμένου σε Μικροελεγκτή
if(signalStrength >=15)

```
{  
  lcd.drawBitmap(1, 1, signal5, 17 , 6);  
}else if(signalStrength >=11 && signalStrength <15)  
{  
  lcd.drawBitmap(1, 1, signal4, 17 , 6);  
}  
else if(signalStrength >=9 && signalStrength <11)  
{  
  lcd.drawBitmap(1, 1, signal3, 17 , 6);  
}  
else if(signalStrength >=7 && signalStrength <9)  
{  
  lcd.drawBitmap(1, 1, signal2, 17 , 6);  
}  
else if(signalStrength <7)  
{  
  lcd.drawBitmap(1, 1, signal1, 17 , 6);  
}
```

}αυτή η συνάρτηση εμφανίζει ένα γράφημα (bit map) ο οποίος θα δείχνει ποσό σήμα πιάνει ο στερεοφωνικός δέκτης .

Τις βιβλιοθήκες μπορούμε να τις δούμε στα παραρτήματα στο τέλος

6 Συμπεράσματα – Μελλοντικές Εργασίες

6.1 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ότι, ένας ολόκληρος ραδιοφωνικός δέκτης μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα. Η πολυπλοκότητα του συστήματος έχει ενσωματωθεί στο ολοκληρωμένο κύκλωμα. Η πολύ καλή ποιότητα λήψης του δέκτη και η ευκολία ενσωμάτωσης του σε ένα ενσωματωμένο σύστημα κάνει αυτού του είδους τις εφαρμογές πολύ ελκυστικές και για επαγγελματική χρήση. Χάρης το πρωτόκολλο I2C Η δυνατότητα διασύνδεσης- επικοινωνίας του δέκτη με μικροελεγκτή παρέχει πολύ υψηλές δυνατότητες ελέγχου του δέκτη με ευκολία χρήσης. Είναι μια κατασκευή που έχει πολύ μικρό κόστος υλοποίησης , έχει πολύ μικρό μέγεθος , και έχει πολύ λίγη κατανάλωση ισχύος .η υλοποίηση του δεκτη δεν απαιτεί καλή γνώση ραδιοσυστημάτων και σχεδιασμό αυτών αλλά αντιθέτως ,απαιτείτε καλή γνώση προγραμματισμού ενσωματωμένων συστημάτων. Αυτός ο δέκτης έχει σταθερότητα και επαναληψιμότητα στην λειτουργία του . Η ποιότητα του ήχου που βγάζει στην έξοδο δεν είναι πολύ καλή χωρίς την χρήση ενός ενισχυτή όπως στην δικιά μας περίπτωση που το LM απομόνωσε τον θόρυβο ωστόσο υπάρχουν και ακόμα ισχυρότεροι ενισχυτές .

6.2 Μελλοντικές Εργασίες

Σε μελλοντικές χρήσεις θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε την κατασκευή για αρκετούς λογούς ας αναφέρουμε κάποιους

1. Με έναν καλύτερο ενισχυτή αντί του LM386 η με ένα ηχείο μεγαλύτερης ισχύος θα μπορούμε να έχουμε ποιο καθαρό ηχητικό σήμα στην ακρόαση του
2. Μπορούμε αυτή την κατασκευή να την υλοποιήσουμε σε μια πλακέτα και να την τοποθετήσουμε σε ένα κουτί κατασκευής και με έναν μετασχηματιστή να στο συνδέσουμε στην μπριόζα η με επιπλέον κυκλώματα να το τροφοδοτούμε με μπαταρίες και έτσι να φτιάξουμε ένα φορητό ραδιόφωνο που δεν θα μπορεί να ζηλέψει σε τίποτα αυτά του εμπορείου
3. Δυνατότητες ενσωμάτωσης και άλλων λειτουργιών όπως RDS .
4. Μέσω του I2C Θα μπορούσαμε να σχεδιάσουμε πιο πολύπλοκες δομές λήψης, με πολλαπλούς δέκτες λήψης .
5. Μπορούμε να βελτιώσουμε τα χαρακτηριστικά του του συστήματος με νέο firmware
6. Με της κατάλληλες μετατροπές το κωδικα θα μπορούσαμε να μετατρέψουμε το ραδιόφωνο σε ψηφιακό τύπου DAB
7. Με κάποια επιπλέον εξαρτήματα και αλλαγές το κωδικα θα μπορούσαμε να αλλάξουμε το φάσμα των συχνοτήτων και να πιάνει εκτός από τους ραβινικούς σταθμούς , και πειρατικούς . Η να χρησιμοποιηθεί από τον στρατό η την αστυνομία για τις δίκες τους επικοινωνίες .

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

1. Arduino FM Receiver - TEA5767 Modules (χ.χ.) ανακτήθηκε από <https://www.hotmcu.com/arduino-fm-receiver-tea5767-modules-p-204.html5>
2. Arduino pins (2015 Ιούλιος) ανακτήθηκε από <https://forum.arduino.cc/t/is-there-a-reason-why-the-arduino-tx-rx-pins-marked-so-strangely/320975>
3. Arduino(χ.χ.) ανακτήθηκε από 14 Αυγούστου 2021 , από το wiki <http://arduino.cc/en/Guide/Environment>,
4. Dhananjay , G. (2014). *Προγραμματίζοντας τον μικροελεγκτή AVR(μτφ.)*. Αθήνα : ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ
5. educ8s.tv (Producer & Director). (2017). Arduino FM Radio Project with TEA5767 and a Nokia 5110 LCD display[εκπαιδευτικό βίντεο]. ΕΛΛΑΔΑ : YouTube
6. educ8s.tv. Arduino FM Radio Project. Ανακτήθηκε 3 Μάρτιου, 2021 από <http://educ8s.tv/arduino-fm-radio-project/>
7. Haykin, S.,& Moher, M. (2009). *Communication Systems. 5th ed.* New Jersey :John Wiley & sons,Inc
8. Herbert, T. – Donald ,S.(2005). *Αρχές Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων.3^η εκδ (μτφ.)*. Αθήνα : ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ
9. I²C(χ.χ.) Ανακτήθηκε 29 Σεπτεμβρίου, 2021, από το wiki: <https://el.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
10. Introduction to Atmega328. (χ.χ.)ανακτήθηκε από <https://www.theengineeringknowledge.com/introduction-to-atmega328/>
11. NXP, A.(2007) *TEA5767HN:Low-power FM stereo radio for handheld applications*. Ανακτήθηκε 16 Ιουνίου, 2021 από <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/General/TEA5767.pdf>
12. TEA5767 datasheet (2012)ανακτήθηκε από https://www.voti.nl/docs/AN10133.pdf?fbclid=IwAR2d2Tw8rubaKKmVOGHck3eU_8ZKHfVVS7q98ht9TKH1C3yYrsrsAYJSwiE
13. Το Arduino IDE - Εισαγωγή στην γλώσσα (χ.χ.) ανακτήθηκε από <https://www.ardumotive.com/arduino-ide-gr.html>
14. Βαβάλος, Π. (χ.χ) *ΔΕΚΤΗΣ ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ FM*. (Πτυχιακή εργασία). Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης , Θεσσαλονίκη .
15. Δαρμά, Σ. (2015) *ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕΣΩ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ ARDUINO* (Πτυχιακή εργασία). ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ , Πάτρα .
16. ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ ,Π (2015) *Σχεδιασμός και μετατροπή μιας απλής οικιακής συσκευής σε επαναπρογραμματιζόμενη συσκευή IP(διπλωματική εργασία)*. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ,Κοζάνη

17. Κατσάνος, Χ.(2015) *Σχεδιασμός και υλοποίηση απομακρυσμένου συστήματος ελέγχου ηλεκτρικής ισχύος.*(ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ).Πανεπιστήμιο δυτικής Μακεδονίας, Καστοριά.
18. Νασιόπουλος, Α. (2007). *ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ*. Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΑΡΑΚΥΝΘΟΣ
19. Νασιόπουλος, Α.,& Χατζόπουλος Δ. (2013). *Συστήματα εκπομπής και λήψης ΑΘΗΝΑ :ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ*
20. Παναγόπουλος, Α. *Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες: Ψηφιακές Διαμορφώσεις*. Ανακτήθηκε 8 Μαΐου, 2021 από http://www.pedion24.gr/mobile/ASK_FSK_PSK_basics.pdf
21. Παπάζογλου, Π.. (2010) *Αρχιτεκτονική & προγραμματισμός Μικροεπεξεργαστών: βοήθημα για τον φοιτητή – οδηγός για τον καθηγητή* .Περιστέρι : εκδόσεις ίων
22. Παπάζογλου, Π.. (2016) *Μικροεπεξεργαστές: Αρχές & εφαρμογές* .Αθήνα : ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ
23. Παρασκευάς, Μ. (2016) ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ 2016-17 *Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα Ι: Διάλεξη 7- Διαμόρφωση Γωνίας (1/2)*. Ανακτήθηκε 16 Ιουλίου, 2021 από http://opencourses.teiwest.gr/modules/document/file.php/CIED106/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82%202016%20-%202017/Telecom_Systems_I_Lectures_7.pdf
24. Παρασκευάς, Μ. (2016) ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ 2016-17 *Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα Ι: Διάλεξη 4: Κανάλια Επικοινωνιών – Η έννοια της Διαμόρφωσης*. Ανακτήθηκε 11 Ιουλίου, 2021 από http://opencourses.teiwest.gr/modules/document/file.php/CIED106/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82%202016%20-%202017/Telecom_Systems_I_Lectures_4.pdf
25. Πριτσίνης, Γ.(2013) *ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ, ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΟΦΩΝΙΚΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ *FM-STEREO*. ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ,*
26. Σύγκριση των διαμορφώσεων ΑΜ και FM(2014, 14 μαρτίου) Ανακτήθηκε από <http://users.sch.gr/kgiannaras/ilektronikes-epikoinonies/sygrisi-ton-diamorfoseon-am-kai-fm.html>
27. *ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ*. (Πτυχιακή εργασία). ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ, Σέρρες.

<http://digilib.teiemt.gr/jspui/bitstream/123456789/2060/1/012014140.pdf>

Παράρτημα Α ΚΩΔΙΚΕΣ

Βιβλιοθήκη lcd

```
#ifndef LCD5110_Graph_h
#define LCD5110_Graph_h

#define LEFT 0
#define RIGHT 9999
#define CENTER 9998

#define LCD_COMMAND 0
#define LCD_DATA 1

// PCD8544 Commandset
// -----

// General commands

#define PCD8544_POWERDOWN 0x04
#define PCD8544_ENTRYMODE 0x02
#define PCD8544_EXTENDEDINSTRUCTION 0x01
#define PCD8544_DISPLAYBLANK 0x00
#define PCD8544_DISPLAYNORMAL 0x04
#define PCD8544_DISPLAYALLON 0x01
#define PCD8544_DISPLAYINVERTED 0x05

// Normal instruction set

#define PCD8544_FUNCTIONSET 0x20
#define PCD8544_DISPLAYCONTROL 0x08
#define PCD8544_SETYADDR 0x40
#define PCD8544_SETXADDR 0x80
#define PCD8544_SETTEMP 0x04
#define PCD8544_SETBIAS 0x10
#define PCD8544_SETVOP 0x80
```

Μελέτη & Κατασκευή Ραδιοφωνικού Δέκτη βασισμένου σε Μικροελεγκτή
#define LCD_BIAS 0x03 // Range: 0-7 (0x00-0x07)

#define LCD_TEMP 0x02 // Range: 0-3 (0x00-0x03)

#define LCD_CONTRAST 0x46 // Range: 0-127 (0x00-0x7F)

#if defined(__AVR__)

#include <Arduino.h>;

#include <hardware/avr/HW_AVR_defines.h>;

#elif defined(__PIC32MX__)

#include <WProgram.h>;

#include <hardware/pic32/HW_PIC32_defines.h>;

#elif defined(__arm__)

#include <Arduino.h>;

#include <hardware/arm/HW_ARM_defines.h>;

#endif

struct _current_font

{

uint8_t* font;

uint8_t x_size;

uint8_t y_size;

uint8_t offset;

uint8_t numchars;

uint8_t inverted;

};

class LCD5110

{

public:

LCD5110(int SCK, int MOSI, int DC, int RST, int CS);

void InitLCD(int contrast=LCD_CONTRAST);

void setContrast(int contrast);

void enableSleep();

ΠΑΔΑ, ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, Διπλωματική Εργασία, ΜΠΑΛΛΑΣ ΤΙΣΙΑΝΟ

Μελέτη & Κατασκευή Ραδιοφωνικού Δέκτη βασισμένου σε Μικροελεγκτή
void disableSleep();

void update();

void clrScr();

void fillScr();

void invert(bool mode);

void setPixel(uint16_t x, uint16_t y);

void clrPixel(uint16_t x, uint16_t y);

void invPixel(uint16_t x, uint16_t y);

void invertText(bool mode);

void print(char *st, int x, int y);

void print(String st, int x, int y);

void printNumI(long num, int x, int y, int length=0, char filler=' ');

void printNumF(double num, byte dec, int x, int y, char divider='.', int
length=0, char filler=' ');

void setFont(uint8_t* font);

void drawBitmap(int x, int y, uint8_t* bitmap, int sx, int sy);

void drawLine(int x1, int y1, int x2, int y2);

void clrLine(int x1, int y1, int x2, int y2);

void drawRect(int x1, int y1, int x2, int y2);

void clrRect(int x1, int y1, int x2, int y2);

void drawRoundRect(int x1, int y1, int x2, int y2);

void clrRoundRect(int x1, int y1, int x2, int y2);

void drawCircle(int x, int y, int radius);

void clrCircle(int x, int y, int radius);

protected:

regtype *P_SCK, *P_MOSI, *P_DC, *P_RST, *P_CS;

regsize B_SCK, B_MOSI, B_DC, B_RST, B_CS;

uint8_t SCK_Pin, RST_Pin; // Needed

ΠΑΔΑ, ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, Διπλωματική Εργασία, ΜΠΑΛΛΑΣ ΤΙΣΙΑΝΟ

```
for for faster MCUs

_current_font cfont;

uint8_t scrbuf[504];

boolean _sleep;

int _contrast;

void _LCD_Write(unsigned char data, unsigned char mode);

void _print_char(unsigned char c, int x, int row);

void _convert_float(char *buf, double num, int width, byte prec);

void drawHLine(int x, int y, int l);

void clrHLine(int x, int y, int l);

void drawVLine(int x, int y, int l);

void clrVLine(int x, int y, int l);

};

#endif
```

Βιβλιοθήκη tea5767.h

```
#include <Arduino.h>

#ifdef TEA5767N_h

#define TEA5767N_h

#define TEA5767_I2C_ADDRESS    0x60

#define FIRST_DATA            0

#define SECOND_DATA           1

#define THIRD_DATA            2

#define FOURTH_DATA           3

#define FIFTH_DATA            4

#define LOW_STOP_LEVEL        1

#define MID_STOP_LEVEL        2

#define HIGH_STOP_LEVEL       3
```

```
#define HIGH_SIDE_INJECTION    1
#define LOW_SIDE_INJECTION    0
#define STEREO_ON             0
#define STEREO_OFF            1
#define MUTE_RIGHT_ON         1
#define MUTE_RIGHT_OFF        0
#define MUTE_LEFT_ON          1
#define MUTE_LEFT_OFF         0
#define SWP1_HIGH             1
#define SWP1_LOW              0
#define SWP2_HIGH             1
#define SWP2_LOW              0
#define STBY_ON               1
#define STBY_OFF              0
#define JAPANESE_FM_BAND      1
#define US_EUROPE_FM_BAND     0
#define SOFT_MUTE_ON          1
#define SOFT_MUTE_OFF         0
#define HIGH_CUT_CONTROL_ON   1
#define HIGH_CUT_CONTROL_OFF  0
#define STEREO_NOISE_CANCELLING_ON  1
#define STEREO_NOISE_CANCELLING_OFF 0
#define SEARCH_INDICATOR_ON   1
#define SEARCH_INDICATOR_OFF  0
```

```
class TEA5767N {
private:
    float frequency;
    byte hiInjection;
```

```
byte frequencyH;  
  
byte frequencyL;  
  
byte transmission_data[5];  
  
byte reception_data[5];  
  
boolean muted;  
  
  
void setFrequency(float);  
  
void transmitFrequency(float);  
  
void transmitData();  
  
void initializeTransmissionData();  
  
void readStatus();  
  
float getFrequencyInMHz(unsigned int);  
  
void calculateOptimalHiLoInjection(float);  
  
void setHighSideLOInjection();  
  
void setLowSideLOInjection();  
  
void setSoundOn();  
  
void setSoundOff();  
  
void loadFrequency();  
  
byte isReady();  
  
byte isBandLimitReached();  
  
  
public:  
  
TEA5767N();  
  
void selectFrequency(float);  
  
void selectFrequencyMuting(float);  
  
void mute();  
  
void turnTheSoundBackOn();  
  
void muteLeft();  
  
void turnTheLeftSoundBackOn();  
  
void muteRight();
```

float readFrequencyInMHz();

void setSearchUp();

void setSearchDown();

void setSearchLowStopLevel();

void setSearchMidStopLevel();

void setSearchHighStopLevel();

void setStereoReception();

void setMonoReception();

void setSoftMuteOn();

void setSoftMuteOff();

void setStandByOn();

void setStandByOff();

void setHighCutControlOn();

void setHighCutControlOff();

void setStereoNoiseCancellingOn();

void setStereoNoiseCancellingOff();

byte searchNext();

byte searchNextMuting();

byte startsSearchFrom(float frequency);

byte startsSearchFromBeginning();

byte startsSearchFromEnd();

byte startsSearchMutingFromBeginning();

byte startsSearchMutingFromEnd();

byte getSignalLevel();

byte isStereo();

byte isSearchUp();

byte isSearchDown();

```

Μελέτη & Κατασκευή Ραδιοφωνικού Δέκτη βασισμένου σε Μικροελεγκτή
boolean isMuted();

boolean isStandBy();

};

#endif

```

Παράρτημα Β μικροελεγκτές

καταχωρητή κατάσταση

Bit	Περιγραφή
I	Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των διακοπών που προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον
T	Χρησιμοποιείται για χειρισμό bit μέσω των εντολών BLD και BST
H	Κρατούμενο που προέρχεται από το τρίτο στο τέταρτο bit ενός αριθμού (π.χ. σε μια εντολή ADD)
S	Bit προσήμου. Η τιμή του προέρχεται με αποκλειστικό Ή μεταξύ των bit N και V
V	Υπερχείλιση σε πράξη με συμπλήρωμα ως προς 2
N	Ενεργοποιείται όταν το περισσότερο σημαντικό ψηφίο από κάποιο αποτέλεσμα είναι 1 (στην ουσία πρόκειται για το αρνητικό πρόσημο)
Z	Δείχνει τότε το αποτέλεσμα μιας πράξης είναι μηδέν
C	Κρατούμενο (ή δανεικό σε αφαίρεση) που έχει προκύψει σε αποτέλεσμα κάποιας πράξης

attach interrupt

BOARD	DIGITAL PINS USABLE FOR INTERRUPTS
Uno, Nano, Mini, other 328-based	2, 3
Uno WiFi Rev.2, Nano Every	all digital pins
Mega, Mega2560, MegaADK	2, 3, 18, 19, 20, 21 (pins 20 & 21 are not available to use for interrupts while they are used for I2C communication)
Micro, Leonardo, other 32u4-based	0, 1, 2, 3, 7
Zero	all digital pins, except 4
MKR Family boards	0, 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A1, A2
Nano 33 IoT	2, 3, 9, 10, 11, 13, A1, A5, A7
Nano 33 BLE, Nano 33 BLE Sense	all pins
Due	all digital pins
101	all digital pins (Only pins 2, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13 work with CHANGE)

analogWrite

Μελέτη & Κατασκευή Ραδιοφωνικού Δέκτη βασισμένου σε Μικροελεγκτή

BOARD	PWM PINS	PWM FREQUENCY
Uno, Nano, Mini	3, 5, 6, 9, 10, 11	490 Hz (pins 5 and 6: 980 Hz)
Mega	2 - 13, 44 - 46	490 Hz (pins 4 and 13: 980 Hz)
Leonardo, Micro, Υύν	3, 5, 6, 9, 10, 11, 13	490 Hz (pins 3 and 11: 980 Hz)
Uno WiFi Rev2, Nano Every	3, 5, 6, 9, 10	976 Hz
MKR boards *	0 - 8, 10, A3, A4	732 Hz
MKR1000 WiFi *	0 - 8, 10, 11, A3, A4	732 Hz
Zero *	3 - 13, A0, A1	732 Hz
Nano 33 IoT *	2, 3, 5, 6, 9 - 12, A2, A3, A5	732 Hz
Nano 33 BLE/BLE Sense	1 - 13, A0 - A7	500 Hz
Due **	2-13	1000 Hz
101	3, 5, 6, 9	pins 3 and 9: 490 Hz, pins 5 and 6: 980 Hz

analogReference

Description

Configures the reference voltage used for analog input (i.e. the value used as the top of the input range). The options are:

Arduino AVR Boards (Uno, Mega, Leonardo, etc.)

- DEFAULT: the default analog reference of 5 volts (on 5V Arduino boards) or 3.3 volts (on 3.3V Arduino boards)
- INTERNAL: a built-in reference, equal to 1.1 volts on the ATmega168 or ATmega328P and 2.56 volts on the ATmega32U4 and ATmega8 (not available on the Arduino Mega)
- INTERNAL1V1: a built-in 1.1V reference (Arduino Mega only)
- INTERNAL2V56: a built-in 2.56V reference (Arduino Mega only)
- EXTERNAL: the voltage applied to the AREF pin (0 to 5V only) is used as the reference.

Arduino SAMD Boards (Zero, etc.)

- AR_DEFAULT: the default analog reference of 3.3V
- AR_INTERNAL: a built-in 2.23V reference
- AR_INTERNAL1V0: a built-in 1.0V reference
- AR_INTERNAL1V65: a built-in 1.65V reference
- AR_INTERNAL2V23: a built-in 2.23V reference
- AR_EXTERNAL: the voltage applied to the AREF pin is used as the reference

Arduino megaAVR Boards (Uno WiFi Rev2)

- DEFAULT: a built-in 0.55V reference
- INTERNAL: a built-in 0.55V reference
- VDD: Vdd of the ATmega4809. 5V on the Uno WiFi Rev2
- INTERNAL0V55: a built-in 0.55V reference
- INTERNAL1V1: a built-in 1.1V reference
- INTERNAL1V5: a built-in 1.5V reference
- INTERNAL2V5: a built-in 2.5V reference
- INTERNAL4V3: a built-in 4.3V reference
- EXTERNAL: the voltage applied to the AREF pin (0 to 5V only) is used as the reference

Arduino SAM Boards (Due)

- AR_DEFAULT: the default analog reference of 3.3V. This is the only supported option for the Due.

Arduino Mbed OS Nano Boards (Nano 33 BLE), Arduino Mbed OS Edge Boards (Edge Control)

- AR_VDD: the default 3.3 V reference
- AR_INTERNAL: built-in 0.6 V reference
- AR_INTERNAL1V2: 1.2 V reference (internal 0.6 V reference with 2x gain)
- AR_INTERNAL2V4: 2.4 V reference (internal 0.6 V reference with 4x gain)

Βιβλιοθήκες

Μελέτη & Κατασκευή Ραδιοφωνικού Δέκτη βασισμένου σε Μικροελεγκτή Messenger - για την επεξεργασία κειμένου με βάση τα μηνύματα από τον υπολογιστή.

NewSoftSerial - βελτιωμένη έκδοση της βιβλιοθήκης SoftwareSerial.

OneWire - συσκευές ελέγχου (της Dallas Semiconductor) που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο one Wire.

PS2Keyboard - διαβάζει χαρακτήρες από ένα πληκτρολόγιο PS2.

Simple Message System - στέλνει μηνύματα μεταξύ Arduino και του υπολογιστή

SSerial2Mobile - αποστολή μηνυμάτων κειμένου ή e-mail χρησιμοποιώντας ένα κινητό τηλέφωνο (μέσω εντολών AT μέσω σειράς λογισμικού)

Webduino - επεκτάσιμη βιβλιοθήκη web server (για χρήση με το Arduino Ethernet Shield)

X10 - Αποστολή σημάτων X10 μέσω γραμμών εναλλασσόμενου ρεύματος

Xbee - για την επικοινωνία με XBees σε λειτουργία API

SerialControl - Τηλεχειριστήριο άλλες Arduino πάνω από μια σειριακή σύνδεση

Servo - για τον έλεγχο κινητήρων τύπου Servo.

Ανίχνευσης:

- Capacitive Sensing - δύο ή περισσότερες ακίδες σε αισθητήρες πυκνωτή
- Debounce - για την ανάγνωση θορυβώδη ψηφιακών εισόδων (π.χ. από τα κουμπιά).

Ξμφάνιση και LED:

- Improved LCD library - διορθώνει σφάλματα αρχικοποίησης LCD στην επίσημη Arduino LCD βιβλιοθήκη.
- GLCD - γραφικές ρουτίνες για LCD με βάση την KS0108 ή ισοδύναμο chipset.
- LedControl - για τον έλεγχο των LED ή επτά τμημάτων οθόνες με MAX7221 ή MAX7219.
- LedControl - μια εναλλακτική λύση στη βιβλιοθήκη Matrix για την οδήγηση με πολλαπλούς LED.
- LedDisplay - τον έλεγχο της HCMS-29xx οθόνη LED.

Μελέτη & Κατασκευή Ραδιοφωνικού Δέκτη βασισμένου σε Μικροελεγκτή

Συχνότητα παραγωγής ήχου:

- Tone - αναπαράγει κύματα ήχου συχνότητας στο παρασκήνιο σε κάθε καρφίτσα του μικροελεγκτή.

Κινητήρες και PWM:

- TLC5940 - 16 κανάλι 12 bit PWM ελεγκτή.

Χρονοδιάγραμμα:

- DateTime - μια βιβλιοθήκη για την παρακολούθηση της τρέχουσας ημερομηνίας και ώρας.
- MsTime2 - χρησιμοποιεί το χρονόμετρο διακοπής 2 για να ενεργοποιήσει μια δράση κάθε χιλιοστά του δευτερολέπτου N.

Βοηθητικά προγράμματα:

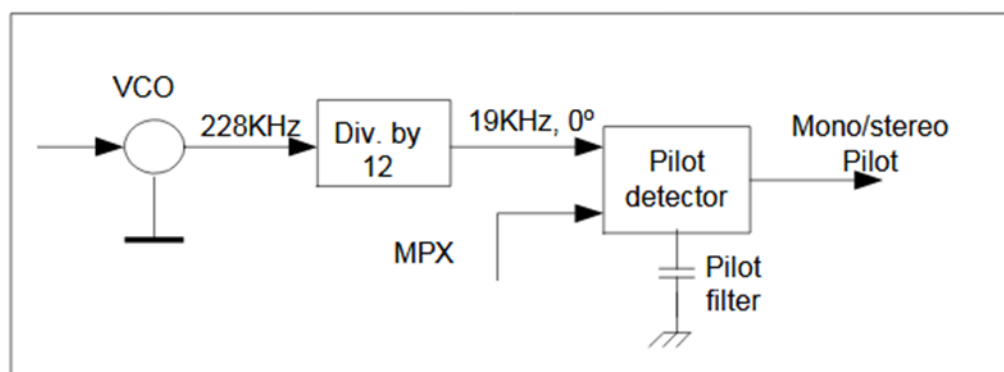
- Streaming - μια μέθοδο για την απλοποίηση δηλώσεων εκτύπωσης.

Παράρτημα Γ TEA5767& LCD

TEA5767

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION	Voltage min.	SYMBOL	PIN	DESCRIPTION	Voltage min.
NC1	1	Not connected		NC4	21	Not connected	
CPOUT	2	Charge pump output of the synthesiser PLL	1.64V	VAFL	22	Audio left output	
VCOTANK1	3	VCO tuned circuit output 1	2.5V	VAFR	23	Audio right output	
VCOTANK2	4	VCO tuned circuit output 2	2.5V	TMUTE	24	Time constant for the softmute	1.5V
VCCVCO	5	VCO supply voltage	2.5V	MPXOUT	25	FM demodulator MPX out	
DGND	6	Digital ground	0V	VREF	26	Reference voltage	1.45V
VDIG	7	Digital supply voltage	2.5V	TIFCENTER	27	Time constant for IF centre adjust	1.34V
DATA	8	Bus data line input/output		LIMDEC1	28	Decoupling IF limiter 1	1.86V
CLOCK	9	Bus clock line input		LIMDEC2	29	Decoupling IF limiter 2	1.86V
NC2	10	Not connected		NC5	30	Not connected	
WRITE/READ	11	Write/read control for the 3-Wire bus		NC6	31	Not connected	
BUSMODE	12	Bus mode select input		IGAIN	32	Gain control current for IF filter	0.48V
BUSENABLE	13	Bus enable input		AGND	33	Analog ground	0V
SWPORT1	14	Software programmable port 1		VCC	34	Analog supply voltage	2.5V
SWPORT2	15	Software programmable port 2		RFIN1	35	RF input 1	0.93V
XTAL1	16	Crystal oscillator input 1	1.64V	RFGND	36	RF ground	0V
XTAL2	17	Crystal oscillator input 2	1.64V	RFIN2	37	RF input 2	0.93V
PHASEDET	18	Phase detector loop filter	1.0V	CAGC	38	Time constant RF AGC	
PILDET	19	Pilot detector lowpass filter	0.7V	LOOPSW	39	Switch output of synthesiser PLL filter	
NC3	20	Not connected		NC7	40	Not connected	

Ο ανιχνευτής πιλοτικού σήματος παράρτημα



Μελέτη & Κατασκευή Ραδιοφωνικού Δέκτη βασισμένου σε Μικροελεγκτή
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ TEA5767

Table 1. Quick reference data

$V_{CCA} = V_{CCD} = V_{CC(VCO)} = 2.7\text{ V}$; $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; AC values are given in RMS;
 for V_{RF} the emf value is given; unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_{CCA}	analog supply voltage		[1] 2.5	3.0	5.0	V
$V_{CC(VCO)}$	Voltage-Controlled Oscillator (VCO) supply voltage		[1] 2.5	3.0	5.0	V
V_{CCD}	digital supply voltage		[1] 2.5	3.0	5.0	V
I_{CCA}	analog supply current	operating; $V_{CCA} = 3\text{ V}$	6.0	8.4	10.5	mA
		Standby mode; $V_{CCA} = 3\text{ V}$	-	3	6	μA
$I_{CC(VCO)}$	VCO supply current	operating; $V_{CC(VCO)} = 3\text{ V}$	560	750	940	μA
		Standby mode; $V_{CC(VCO)} = 3\text{ V}$	-	1	2	μA
I_{CCD}	digital supply current	operating; $V_{CCD} = 3\text{ V}$	2.1	3.0	3.9	mA
		Standby mode; $V_{CCD} = 3\text{ V}$				
		bus enable line HIGH	30	56	80	μA
		bus enable line LOW	11	19	26	μA
$f_{FM(ant)}$	FM input frequency		76	-	108	MHz
T_{amb}	ambient temperature	$V_{CCA} = V_{CC(VCO)} = V_{CCD} = 2.5\text{ V to }5\text{ V}$	-10	-	+75	$^{\circ}\text{C}$
FM overall system parameters; see Figure 13						
V_{RF}	RF sensitivity input voltage	$f_{RF} = 76\text{ MHz to }108\text{ MHz}$; $\Delta f = 22.5\text{ kHz}$; $f_{mod} = 1\text{ kHz}$; $(S+N)/N = 26\text{ dB}$; de-emphasis = $75\text{ }\mu\text{s}$; $L = R$; $B_{AF} = 300\text{ Hz to }15\text{ kHz}$	-	2	3.5	μV
S_{-200}	low side 200 kHz selectivity	$\Delta f = -200\text{ kHz}$; $f_{tune} = 76\text{ MHz to }108\text{ MHz}$	[2] 32	36	-	dB
S_{+200}	high side 200 kHz selectivity	$\Delta f = +200\text{ kHz}$; $f_{tune} = 76\text{ MHz to }108\text{ MHz}$	[2] 39	43	-	dB
V_{AFL}	left audio frequency output voltage	$V_{RF} = 1\text{ mV}$; $L = R$; $\Delta f = 22.5\text{ kHz}$; $f_{mod} = 1\text{ kHz}$; de-emphasis = $75\text{ }\mu\text{s}$	60	75	90	mV
V_{AFR}	right audio frequency output voltage	$V_{RF} = 1\text{ mV}$; $L = R$; $\Delta f = 22.5\text{ kHz}$; $f_{mod} = 1\text{ kHz}$; de-emphasis = $75\text{ }\mu\text{s}$	60	75	90	mV

Δυναμικά χαρακτηριστικά

Μελέτη & Κατασκευή Ραδιοφωνικού Δέκτη βασισμένου σε Μικροελεγκτή

$V_{CCA} = V_{CCD} = V_{CC(VCO)} = 2.7\text{ V}$; $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; AC values given in RMS;

For V_{RF} the emf value is given; unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
VCO						
f_{osc}	oscillator frequency		150	-	217	MHz
Crystal oscillator						
Circuit input: pin XTAL2						
$V_{(osc)}$	oscillator input voltage	oscillator externally clocked	140	-	350	mV
R_i	input resistance	oscillator externally clocked				
		data byte 4 bit 4 = 0	2	3	4	k Ω
		data byte 4 bit 4 = 1	230	330	430	k Ω
C_i	input capacitance	oscillator externally clocked				
		data byte 4 bit 4 = 0	3.9	5.6	7.3	pF
		data byte 4 bit 4 = 1	5	6	7	pF
Crystal: 32.768 kHz						
f_r	series resonance frequency	data byte 4 bit 4 = 1	-	32.768	-	kHz
$\Delta f/f_r$	frequency deviation		-20×10^{-6}	-	$+20 \times 10^{-6}$	
C_0	shunt capacitance		-	-	3.5	pF
R_S	series resistance		-	-	80	k Ω
$\Delta f_r/f_r(25\text{ }^{\circ}\text{C})$	temperature drift	$-10\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{amb} < +60\text{ }^{\circ}\text{C}$	-50×10^{-6}	-	$+50 \times 10^{-6}$	
Crystal: 13 MHz						
f_r	series resonance frequency	data byte 4 bit 4 = 0	-	13	-	MHz
$\Delta f/f_r$	frequency deviation		-30×10^{-6}	-	$+30 \times 10^{-6}$	
C_0	shunt capacitance		-	-	4.5	pF
C_{mot}	motional capacitance		1.5	-	3.0	fF
R_S	series resistance		-	-	100	k Ω
$\Delta f_r/f_r(25\text{ }^{\circ}\text{C})$	temperature drift	$-40\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{amb} < +85\text{ }^{\circ}\text{C}$	-30×10^{-6}	-	$+30 \times 10^{-6}$	
Synthesizer						
Programmable divider						
N_{prog}	programmable divider ratio	data byte 1 = XX11 1111; data byte 2 = 1111 1110	-	-	8191	-
		data byte 1 = XX01 0000; data byte 2 = 0000 0000	2048	-	-	-
ΔN_{step}	programmable divider step size		-	1	-	-
Reference frequency divider						
N_{ref}	crystal oscillator divider ratio	data byte 4 bit 4 = 0	-	260	-	-
		data byte 5 bit 7 = 1; data byte 4 bit 4 = 0	-	130	-	-
		data byte 4 bit 4 = 1	-	1	-	-
Charge pump						
Charge pump: pin CPOUT						
I_{sink}	charge pump peak sink current	$0.2\text{ V} < V_{CPOUT} < V_{VCO_TANK2} - 0.2\text{ V}$; $f_{VCO} > f_{ref} \times N_{prog}$	-	0.5	-	μA
I_{source}	charge pump peak source current	$0.2\text{ V} < V_{CPOUT} < V_{VCO_TANK2} - 0.2\text{ V}$; $f_{VCO} < f_{ref} \times N_{prog}$	-	-0.5	-	μA
IF counter						
V_{RF}	RF input voltage for correct IF count		-	12	18	μV
N_{IF}	IF counter length		-	7	-	bit
$N_{precount}$	IF counter prescaler ratio		-	64	-	-
$T_{count(IF)}$	IF counter period	$f_{xtal} = 32.768\text{ kHz}$	-	15.625	-	ms
		$f_{xtal} = 13\text{ MHz}$	-	15.754	-	ms
$RES_{count(IF)}$	IF counter resolution	$f_{xtal} = 32.768\text{ kHz}$	-	4.096	-	kHz
		$f_{xtal} = 13\text{ MHz}$	-	4.0625	-	kHz
IF_{count}	IF counter result for search tuning stop	$f_{xtal} = 32.768\text{ kHz}$	29h	-	3Dh	-
		$f_{xtal} = 13\text{ MHz}$	30h	-	3Dh	-
Pins DATA, CLOCK, WRITE/READ, BUSMODE and BUSENABLE						
R_i	input resistance		10	-	-	M Ω

Μελέτη & Κατασκευή Ραδιοφωνικού Δέκτη βασισμένου σε Μικροελεγκτή

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Software programmable ports						
Pin SWPORT1						
$I_{sink(max)}$	maximum sink current	data byte 3 bit 0 = 0; data byte 4 bit 0 = 0; $V_{SWPORT1} < 0.5 V$	500	-	-	μA
$I_{leak(max)}$	maximum leakage current	data byte 3 bit 0 = 1; $V_{SWPORT1} < 5 V$	-1	-	+1	μA
Pin SWPORT2						
$I_{sink(max)}$	maximum sink current	data byte 4 bit 7 = 0; $V_{SWPORT1} < 0.5 V$	500	-	-	μA
$I_{leak(max)}$	maximum leakage current	data byte 4 bit 7 = 1; $V_{SWPORT1} < 5 V$	-1	-	+1	μA
FM signal channel						
FM RF input						
$f_{FM(ant)}$	FM input frequency		76	-	108	MHz
R_i	input resistance at pins RF11 and RF12 to RFGND		75	100	125	Ω
C_i	input capacitance at pins RF11 and RF12 to RFGND		2.5	4	6	pF
V_{RF}	RF sensitivity input voltage	$f_{RF} = 76 \text{ MHz to } 108 \text{ MHz};$ $\Delta f = 22.5 \text{ kHz}; f_{mod} = 1 \text{ kHz};$ (S+N)/N = 26 dB; L = R; de-emphasis = 75 μs ; $B_{AF} = 300 \text{ Hz to } 15 \text{ kHz}$	-	2	3.5	μV
$IP3_{in}$	in-band 3rd-order intercept point related to $V_{RF1-RF12}$ (peak value)	$\Delta f_1 = 200 \text{ kHz}; \Delta f_2 = 400 \text{ kHz};$ $f_{tune} = 76 \text{ MHz to } 108 \text{ MHz}$	81	84	-	dB μV
$IP3_{out}$	out-band 3rd-order intercept point related to $V_{RF1-RF12}$ (peak value)	$\Delta f_1 = 4 \text{ MHz}; \Delta f_2 = 8 \text{ Hz};$ $f_{tune} = 76 \text{ MHz to } 108 \text{ MHz}$	82	85	-	dB μV
RF AGC						
V_{RF1}	RF input voltage for start of AGC	$f_{RF1} = 93 \text{ MHz}; f_{RF2} = 98 \text{ MHz};$ $V_{RF2} = 50 \text{ dB}\mu V;$ $\frac{ \Delta V_{TMUTE} }{V_{RF1}} < \frac{14 \text{ mV}}{3 \text{ dB}\mu V}$	66	72	78	dB μV
IF filter						
f_F	IF filter center frequency		215	225	235	kHz
B_F	IF filter bandwidth		85	94	102	kHz
S_{+200}	high side 200 kHz selectivity	$\Delta f = +200 \text{ kHz};$ $f_{tune} = 76 \text{ MHz to } 108 \text{ MHz}$	39	43	-	dB
S_{-200}	low side 200 kHz selectivity	$\Delta f = -200 \text{ kHz};$ $f_{tune} = 76 \text{ MHz to } 108 \text{ MHz}$	32	36	-	dB
S_{+100}	high side 100 kHz selectivity	$\Delta f = +100 \text{ kHz};$ $f_{tune} = 76 \text{ MHz to } 108 \text{ MHz}$	8	12	-	dB
S_{-100}	low side 100 kHz selectivity	$\Delta f = -100 \text{ kHz};$ $f_{tune} = 76 \text{ MHz to } 108 \text{ MHz}$	8	12	-	dB
IR	image rejection	$f_{tune} = 76 \text{ MHz to } 108 \text{ MHz};$ $V_{RF} = 50 \text{ dB}\mu V$	24	30	-	dB
FM IF level detector and mute voltage						
V_{RF}	RF input voltage for start of level ADC	read mode data byte 4 bit 4 = 1	2	3	5	μV
ΔV_{step}	level ADC step size		2	3	5	dB
Pin TMUTE						
V_{level}	level output DC voltage	$V_{RF} = 0 \mu V$	1.55	1.65	1.80	V
		$V_{RF} = 3 \mu V$	1.60	1.70	1.85	V
$V_{level(slope)}$	slope of level voltage	$V_{RF} = 10 \mu V \text{ to } 500 \mu V$	150	165	180	$\frac{mV}{20 dB}$
R_O	output resistance		280	400	520	k Ω
FM demodulator: pin MPXO						
V_{MPXO}	demodulator output voltage	$V_{RF} = 1 \text{ mV}; L = R;$ $\Delta f = 22.5 \text{ kHz}; f_{mod} = 1 \text{ kHz};$ de-emphasis = 75 μs ; $B_{AF} = 300 \text{ Hz to } 15 \text{ kHz}$	60	75	90	mV
(S+N)/N	maximum signal plus noise-to-noise ratio	$V_{RF} = 1 \text{ mV}; L = R;$ $\Delta f = 22.5 \text{ kHz}; f_{mod} = 1 \text{ kHz};$ de-emphasis = 75 μs ; $B_{AF} = 300 \text{ Hz to } 15 \text{ kHz}$	54	60	-	dB
THD	total harmonic distortion	$V_{RF} = 1 \text{ mV}; L = R;$ $\Delta f = 75 \text{ kHz}; f_{mod} = 1 \text{ kHz};$ de-emphasis = 75 μs	-	0.5	1.5	%
α_{AM}	AM suppression	$V_{RF} = 300 \mu V; L = R;$ $\Delta f = 22.5 \text{ kHz}; f_{mod} = 1 \text{ kHz};$ $m = 0.3; \text{ de-emphasis} = 75 \mu s;$ $B_{AF} = 300 \text{ Hz to } 15 \text{ kHz}$	40	-	-	dB
R_O	demodulator output resistance		-	-	500	Ω
I_{sink}	demodulator output sink current		-	-	30	μA
Soft mute						
V_{RF}	RF input voltage for soft mute start	$\alpha_{mute} = 3 \text{ dB}; \text{ data byte } 4 \text{ bit } 3 = 1$	3	5	10	μV
α_{mute}	mute attenuation	$V_{RF} = 1 \mu V; L = R;$ $\Delta f = 22.5 \text{ kHz}; f_{mod} = 1 \text{ kHz};$ de-emphasis = 75 μs ; $B_{AF} = 300 \text{ Hz to } 15 \text{ kHz};$ data byte 4 bit 3 = 1	4	7	15	dB

Μελέτη & Κατασκευή Ραδιοφωνικού Δέκτη βασισμένου σε Μικροελεγκτή MPX decoder

V_{AFL}	left audio frequency output voltage	$V_{RF} = 1 \text{ mV}; L = R;$ $\Delta f = 22.5 \text{ kHz}; f_{mod} = 1 \text{ kHz};$ de-emphasis = 75 μs	60	75	90	mV
V_{AFR}	right audio frequency output voltage	$V_{RF} = 1 \text{ mV}; L = R;$ $\Delta f = 22.5 \text{ kHz}; f_{mod} = 1 \text{ kHz};$ de-emphasis = 75 μs	60	75	90	mV
R_{AFL}	left audio frequency output resistance		-	-	50	Ω
R_{AFR}	right audio frequency output resistance		-	-	50	Ω
$I_{sink(AFL)}$	left audio frequency output sink current		170	-	-	μA
$I_{sink(AFR)}$	right audio frequency output sink current		170	-	-	μA
$V_{MPXIN(max)}$	input overdrive margin	THD < 3 %	4	-	-	dB
V_{AFL}	left audio frequency output voltage difference	$V_{RF} = 1 \text{ mV}; L = R;$ $\Delta f = 75 \text{ kHz}; f_{mod} = 1 \text{ kHz};$ de-emphasis = 75 μs	-1	-	+1	dB
V_{AFR}	right audio frequency output voltage difference	$V_{RF} = 1 \text{ mV}; L = R;$ $\Delta f = 75 \text{ kHz}; f_{mod} = 1 \text{ kHz};$ de-emphasis = 75 μs	-1	-	+1	dB
$\alpha_{cs(stereo)}$	stereo channel separation	$V_{RF} = 1 \text{ mV}; R = L = 0$ or $R = 0$ and $L = 1$ including 9 % pilot; $\Delta f = 75 \text{ kHz}; f_{mod} = 1 \text{ kHz};$ data byte 3 bit 3 = 0; data byte 4 bit 1 = 1	24	30	-	dB
(S+N)/N	maximum signal plus noise-to-noise ratio	$V_{RF} = 1 \text{ mV}; L = R;$ $\Delta f = 22.5 \text{ kHz}; f_{mod} = 1 \text{ kHz};$ de-emphasis = 75 $\mu\text{s};$ $B_{AF} = 300 \text{ Hz to } 15 \text{ kHz}$	54	60	-	dB
THD	total harmonic distortion	$V_{RF} = 1 \text{ mV}; L = R;$ $\Delta f = 75 \text{ kHz}; f_{mod} = 1 \text{ kHz};$ de-emphasis = 75 μs	-	0.4	1	%
α_{pilot}	pilot suppression measured at pins V_{AFL} and V_{AFR}	related to $\Delta f = 75 \text{ kHz};$ $f_{mod} = 1 \text{ kHz};$ de-emphasis = 75 μs	40	50	-	dB
Δf_{pilot}	stereo pilot frequency deviation	$V_{RF} = 1 \text{ mV};$ read mode data byte 3 bit 7 = 1 data byte 3 bit 7 = 0	-	3.6	5.8	kHz
$\frac{\Delta f_{pilot1}}{\Delta f_{pilot2}}$	pilot switch hysteresis	$V_{RF} = 1 \text{ mV}$	2	-	-	dB

Στατικά χαρακτηριστικά

Table 30. Static characteristics ...continued

$V_{CCA} = V_{CC(VCO)} = V_{CCD} = 2.7 \text{ V}; T_{amb} = 25^\circ\text{C};$ All AC values are given in RMS unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
I_{CCD}	digital supply current	operating				
		$V_{CCD} = 3 \text{ V}$	2.1	3.0	3.9	mA
		$V_{CCD} = 5 \text{ V}$	2.25	3.15	4.05	mA
		Standby mode; $V_{CCD} = 3 \text{ V}$				
		bus enable line HIGH	30	56	80	μA
		bus enable line LOW	11	19	26	μA
		Standby mode; $V_{CCD} = 5 \text{ V}$				
		bus enable line HIGH	50	78	105	μA
bus enable line LOW	20	33	45	μA		

[1] $V_{CCA}, V_{CC(VCO)}$ and V_{CCD} must not differ by more than 200 mV.

Table 31. DC operating points, unloaded DC voltage

$V_{CCA} = V_{CC(VCO)} = V_{CCD} = 2.7 \text{ V}; T_{amb} = 25^\circ\text{C};$ unless otherwise specified.

Operating point	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_{CROUT}		0.1	-	$V_{CC(VCO)} - 0.1$	V
V_{XTAL2}	data byte 4 bit 4 = 1	1.64	1.72	1.8	V
	data byte 4 bit 4 = 0	1.68	1.75	1.82	V
V_{XTAL1}	data byte 4 bit 4 = 1	1.64	1.72	1.8	V
	data byte 4 bit 4 = 0	1.68	1.75	1.82	V
$V_{PHASEFIL}$		0.4	1.2	$V_{CCA} - 0.4$	V
V_{PILFIL}		0.65	0.9	1.3	V
V_{AFL}	$f_{RF} = 98 \text{ MHz}; V_{RF} = 1 \text{ mV}$	720	850	940	mV
V_{AFR}	$f_{RF} = 98 \text{ MHz}; V_{RF} = 1 \text{ mV}$	720	850	940	mV
V_{TMUTE}	$V_{RF} = 0 \text{ V}$	1.5	1.65	1.8	V
V_{MPXO}	$f_{RF} = 98 \text{ MHz}; V_{RF} = 1 \text{ mV}$	680	815	950	mV
V_{REF}		1.45	1.55	1.65	V
V_{TIFC}		1.34	1.44	1.54	V
$V_{LIMDEC1}$		1.86	1.98	2.1	V
$V_{LIMDEC2}$		1.86	1.98	2.1	V
V_{IGAIN}		480	530	580	mV
V_{RFI1}		0.93	1.03	1.13	V
V_{RFI2}		0.93	1.03	1.13	V
V_{TAGC}	$V_{RF} = 0 \text{ V}$	1	1.57	2	V

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Supply voltages^[1]						
V _{CCA}	analog supply voltage		2.5	3.0	5.0	V
V _{CC(VCO)}	VCO supply voltage		2.5	3.0	5.0	V
V _{CCD}	digital supply voltage		2.5	3.0	5.0	V
Supply currents						
I _{CCA}	analog supply current	operating				
		V _{CCA} = 3 V	6.0	8.4	10.5	mA
		V _{CCA} = 5 V	6.2	8.6	10.7	mA
		Standby mode				
		V _{CCA} = 3 V	-	3	6	μA
I _{CC(VCO)}	VCO supply current	operating				
		V _{CC(VCO)} = 3 V	560	750	940	μA
		V _{CC(VCO)} = 5 V	570	760	950	μA
		Standby mode				
		V _{CC(VCO)} = 3 V	-	1	2	μA
		V _{CC(VCO)} = 5 V	-	1.2	2.2	μA

Lcd ακροδέκτες

Ακροδέκτης	Ιδιότητες/Λειτουργία
VCC	Τροφοδοτεί με ρεύμα την οθόνη. Δέχεται αυστηρά τάση 3.3V.
LIGHT	Ενεργοποιεί τις φωτοδιόδους οπίσθιου φωτισμού της πλακέτας όταν συνδέεται με τη γείωση.
GND	Είναι η γείωση της πλακέτας της οθόνης.
RST	Προκαλεί επανεκκίνηση της οθόνης στην αρχική της κατάσταση.
CE	Επιλέγει το ολοκληρωμένο κύκλωμα της οθόνης.
DC	Επιλέγει το είδος των στοιχείων που λαμβάνει η οθόνη, εντολές ή δεδομένα για προβολή.
DIN	Είναι ο δίαυλος αποστολής των δεδομένων προς την οθόνη. Πρέπει να συνδεθεί σε ακροδέκτη με δυνατότητες PWM.
CLK	Αποτελεί το ρολόι της οθόνης και συγχρονίζει την ροή των δεδομένων προς αυτή. Πρέπει να συνδεθεί σε ακροδέκτη με δυνατότητες PWM.