



**ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ψηφιακό Studio Επεξεργασίας Ήχου με Χρήση του NI myDAQ και
LabVIEW**

Στέφανος Ντόκος

Εισηγητής: Αναστασία Βελώνη, Καθηγήτρια

**ΑΘΗΝΑ
ΜΑΙΟΣ 2016**

(Κενό φύλλο)

Ψηφιακό Studio επεξεργασίας ήχου με χρήση του NI MyDAQ και LabVIEW

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ψηφιακό Studio Επεξεργασίας Ήχου με Χρήση του NI myDAQ και LabVIEW

**Ντόκος Στέφανος
Α.Μ. 42060**

Εισηγητής:

Αναστασία Βελώνη, Καθηγήτρια

Ψηφιακό Studio επεξεργασίας ήχου με χρήση του NI MyDAQ και LabVIEW

(Κενό φύλλο)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στη καθηγήτρια και επιβλέποντα της πτυχιακής μου εργασίας, Αναστασία Βελώνη, για τη καθοδήγηση και συμπαράσταση της καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου καθώς και της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ψηφιακό Studio επεξεργασίας ήχου με χρήση του NI MyDAQ και LabVIEW

(Κενό φύλλο)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία, αντικείμενο μελέτης είναι η ψηφιακή επεξεργασία ηχητικών σημάτων με τη χρήση συσκευών συλλογής δεδομένων. Αρχικά, παρουσιάζονται αναλυτικά οι διάφοροι τύποι συστημάτων συλλογής δεδομένων καθώς και τα αντίστοιχα πρωτόκολλα επικοινωνίας και συνδεσιμότητας τους. Στη συνέχεια γίνεται μια θεωρητική ανασκόπηση στις βασικές έννοιες και αρχές των σημάτων και του ήχου καθώς επίσης δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη διαδικασία μετατροπής αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά και αντίστροφα. Τέλος, αναπτύσσεται εφαρμογή επεξεργασίας ήχου στην οποία γίνεται χρήση ψηφιακών φίλτρων με τη δυνατότητα επέμβασης του χειριστή στο ηχητικό αποτέλεσμα.

ABSTRACT

In the current thesis, the case of study is that of the digital audio processing with the use of data acquisition systems. The different types of data acquisition systems, the communication busses and the connectivity settings that comes with it are firstly being explained. An introduction to the main concepts of signal and audio theory then follows, in addition to a thorough analysis of the analog to digital and digital to analog conversion procedures. Following to the above is an application focusing on the use of digital filtering on the input signal giving the ability to the end user to control the audio output.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Ψηφιακή επεξεργασία σήματος
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Συστήματα Συλλογής Δεδομένων, Ψηφιακή Επεξεργασία Ήχου, LabVIEW, Ψηφιακά Φίλτρα, ADC/DAC

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Συστήματα Συλλογής και Επεξεργασίας Δεδομένων	11
1.1. Οι συσκευές DAQ.....	11
1.1.1. Τι είναι συλλογή δεδομένων (Data Acquisition)	11
1.2. Τύποι DAQ συσκευών.....	13
1.2.1. Plug-in Συστήματα Συλλογής Δεδομένων	13
1.2.2. Εξωτερικά Συστήματα Συλλογής Δεδομένων	13
1.2.2.1. Συστήματα Συλλογής Δεδομένων Πραγματικού χρόνου	15
1.2.2.2. Διακριτά όργανα.....	15
1.2.2.3. Υβριδικά Συστήματα Συλλογής Δεδομένων	16
1.3. Δίαυλοι και πρωτόκολλα επικοινωνίας.....	17
1.3.1. ISA (Industry Standard Architecture)	17
1.3.2. PCI (Peripheral Component Interconnect).....	18
1.3.3. PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) ..	19
1.4. Συνδεσιμότητα.....	20
1.4.1. Σειριακές θύρες.....	21
1.4.2. Παράλληλες Θύρες	23
1.4.3. IEEE-488 (GPIB)	24
1.4.4. Universal Serial Bus (USB).....	25
1.4.5. IEEE-1394 FireWire.....	26
1.4.6. Ethernet.....	27
1.5. Το NI myDAQ.....	28
1.5.1. Τι Είναι το NI myDAQ	28
1.5.2. Συνδεσιμότητα και Υλικό.....	30
1.5.2.1. Analog Input (AI)	30
1.5.2.2. Analog Output (AO).....	30
1.5.2.3. Digital Input/Output (DIO).....	30
1.5.2.4. Digital Multimeter (DMM)	31
1.5.2.5. Πίνακας Χαρακτηριστικών	31
2. Η θεωρία του Ήχου	33
2.1. Περί Σημάτων.....	33
2.1.1. Σήματα και Συστήματα.....	33

2.1.2.	Σήματα Συνεχούς και Διακριτού Χρόνου	34
2.1.3.	Μετασχηματισμός Laplace και Z.....	35
2.1.4.	Φίλτρα	36
2.2.	Ο Ήχος	37
2.2.1.	Η Έννοια του Ήχου	37
2.2.2.	Ακουστό Φάσμα	37
2.2.3.	Ηχητικά Πρότυπα	38
2.2.3.1.	Μonoφωνία – 1 Κανάλι	38
2.2.3.2.	Stereo – 2 Κανάλια	38
2.2.3.3.	Dolby Surround – 2+2 Κανάλια	38
2.2.4.	Πρότυπα Συμπύεσης.....	39
2.2.4.1.	MPEG (Motion Picture Experts Group).....	40
2.2.4.2.	FLAC (Free Lossless Audio Codec).....	40
2.2.4.3.	WMA (Windows Media Audio)	40
2.2.4.4.	AC3 Dolby Digital.....	41
2.3.	Ψηφιοποίηση Ηχητικού Σήματος	41
2.3.1.	Μετατροπή Αναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό (ADC).....	41
2.3.1.1.	Δειγματοληψία	42
2.3.1.2.	Κβάντιση	44
2.3.1.3.	Κωδικοποίηση.....	44
2.3.2.	Τύποι ADC Μετατροπών	45
2.3.2.1.	ADC Παράλληλης Μετατροπής (Flash ADC).....	46
2.3.2.2.	ADC Ανάδρασης (Feedback ADC)	47
2.3.2.3.	ADC Ολοκλήρωσης (Integrating ADC).....	47
2.3.3.	Μετατροπή Ψηφιακού Σήματος σε Αναλογικό (DAC).....	48
2.3.4.	Τύποι DAC	49
2.3.4.1.	Διαμορφωτής Παλμικού Πλάτους (Pulse Width Modulator)	49
2.3.4.2.	Ποτενσιομετρικοί DAC (Potentiometer DAC)	50
2.3.4.3.	Διαδικά Σταθμισμένος DAC (Binary Weighted DAC)	50
2.3.4.4.	Τεχνική Τμηματοποίησης (Segmented DAC).....	51
3.	Εφαρμογή Επεξεργασίας Ήχου σε Πραγματικό Χρόνο	53
3.1.	Εισαγωγικές Έννοιες.....	53
3.1.1.	Equalizers.....	53

3.1.2.	Η τεχνική διαίρεσης συχνοτήτων	53
3.2.	Η Εφαρμογή.....	54
3.2.1.	DAQ Assistant	56
3.2.2.	Διαχωρισμός Καναλιών	60
3.2.3.	Φίλτρα Μπάσου, Ενδιάμεσου Τόνου, Τρέμουλου.....	63
3.2.4.	Διαίρεση Συχνοτήτων	68
3.2.5.	Εφέ Έντασης	76
4.	Βιβλιογραφία	81

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Διασύνδεση DAQ Συσκευής με Υπολογιστή	12
Εικόνα 1.2: Πρόσοψη ISA	17
Εικόνα 1.3: Κάτοψη ISA	18
Εικόνα 1.4: Πρόσοψη PCI	19
Εικόνα 1.5: Κάτοψη PCI	19
Εικόνα 1.6: Πρόσοψη PCMCIA	20
Εικόνα 1.7: Πρόσοψη RS-232	22
Εικόνα 1.8: RS-232 Pins	22
Εικόνα 1.9: Πρόσοψη LPT	23
Εικόνα 1.10: LPT Pins	23
Εικόνα 1.11: Πρόσοψη GPIB	24
Εικόνα 1.12: GPIB Pins	24
Εικόνα 1.13: Τύποι & Μορφή USB	25
Εικόνα 1.14: Πρόσοψη FireWire	27
Εικόνα 1.15: Καλώδιο και Υποδοχή FireWire	27
Εικόνα 1.16: Υποδοχή & Πρόσοψη Θύρας Ethernet	28
Εικόνα 1.17 Διασύνδεση Ethernet	28
Εικόνα 1.18: Το NI myDAQ	29
Εικόνα 1.19: Τερματικά και I/O υποδοχές	31
Εικόνα 1.20: Υποδοχείς Ψηφιακού Πολύμετρου	31
Εικόνα 2.1: Μορφή Συστήματος	33
Εικόνα 2.2: Αναλογικό σήμα	34
Εικόνα 2.3: Ψηφιοποιημένο σήμα	34
Εικόνα 2.4: Μέθοδος επίλυσης Διαφορικής Εξίσωσης - Μετασχηματισμός Laplace	35
Εικόνα 2.5: ADC Παράλληλης Μετατροπής	46
Εικόνα 2.6: Ποτενσιομετρικός DAC 3-bit	50
Εικόνα 2.7: Binary Weighted DAC 6-bit	51
Εικόνα 3.1: Front Panel Εφαρμογής	55
Εικόνα 3.2: DAQ Assist Block	56
Εικόνα 3.3: DAQ Assistant – Μεταβλητές Εισόδου	57
Εικόνα 3.4: DAQ Assistant – Επιλογή Καναλιών Εισόδου	57
Εικόνα 3.5: DAQ Assistant – Ιδιότητες Καναλιών Εισόδου	58
Εικόνα 3.6: DAQ Assistant – Μεταβλητές Εξόδου	59
Εικόνα 3.7: DAQ Assistant – Επιλογή Καναλιών Εξόδου	59
Εικόνα 3.8: DAQ Assistant – Ιδιότητες Καναλιών Εξόδου	60
Εικόνα 3.9: Front Panel, Slider Καναλιών	60
Εικόνα 3.10: Block Diagram Διάρθρωσης Καναλιών	61
Εικόνα 3.11: From DDT - Επιλογή τύπου δεδομένων εξόδου	62
Εικόνα 3.12: Front Panel φίλτρων μπάσου, ενδιάμεσου τόνου και τρέμουλου	63
Εικόνα 3.13: Block Diagram φίλτρων μπάσου, ενδιάμεσου τόνου και τρέμουλου	63

Εικόνα 3.14: Ιδιότητες φίλτρου – Μπάσο	64
Εικόνα 3.15: Ιδιότητες φίλτρου – Ενδιάμεσος τόνος.....	65
Εικόνα 3.16: Ιδιότητες φίλτρου – Τρέμουλο.....	66
Εικόνα 3.17: Πολλαπλασιαστές & Αθροιστές φίλτρων	67
Εικόνα 3.18: Front Panel Φίλτρου Διαίρεσης Συχνοτήτων	68
Εικόνα 3.19: Block Diagram Φίλτρου Διαίρεσης Συχνοτήτων	69
Εικόνα 3.20: Ιδιότητες φίλτρου 0-50 Hz.....	70
Εικόνα 3.21: Φίλτρα σε σειρά.....	71
Εικόνα 3.22: Ιδιότητες φίλτρου 50-100 Hz (1)	71
Εικόνα 3.23: Ιδιότητες φίλτρου 50-100 Hz (2)	72
Εικόνα 3.24: Ιδιότητες φίλτρου >1500 Hz.....	73
Εικόνα 3.25: Μοχλός χειρισμού φίλτρου διαίρεσης συχνοτήτων	74
Εικόνα 3.26: Διασύνδεση φίλτρων	74
Εικόνα 3.27: Έξοδος φίλτρου διαίρεσης συχνοτήτων.....	75
Εικόνα 3.28: Front Panel Time Graph.....	75
Εικόνα 3.29: Front Panel δεικτών έντασης.....	76
Εικόνα 3.30: Block Diagram δεικτών συχνοτήτων.....	77
Εικόνα 3.31: Παράμετροι Spectral Measurement.....	78
Εικόνα 3.32: Συνδεσμολογία του Index Array	78
Εικόνα 3.33: Ιδιότητες του Block Convert from Dynamic Data	79
Εικόνα 3.34: Front Panel - Frequency Graph.....	80

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά πρωτόκολλων επικοινωνίας	21
Πίνακας 1.2: Περιγραφή Σημάτων και Υποδοχών	32
Πίνακας 1.3: Περιγραφή Σημάτων Ψηφιακού Πολύμετρου	32
Πίνακας 2.1: Μέγεθος αρχείου ψηφιοποιημένων μουσικών κομματιών	43

1. Συστήματα Συλλογής και Επεξεργασίας Δεδομένων

1.1. Οι συσκευές DAQ

1.1.1. Τι είναι συλλογή δεδομένων (Data Acquisition)

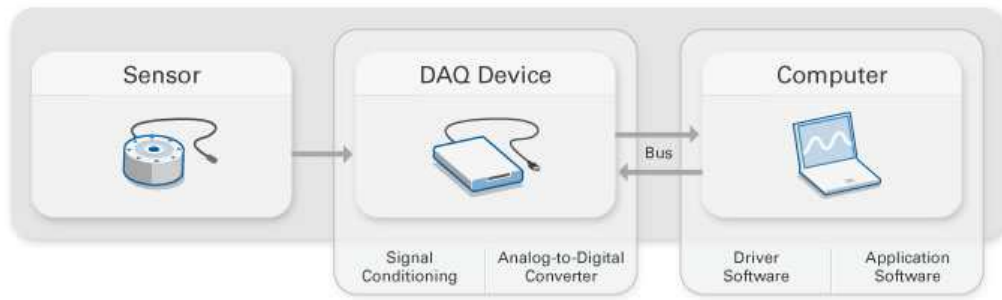
Με τον όρο συλλογή δεδομένων εννοούμε τη καταγραφή φυσικών μεγεθών, που προέρχονται από το πραγματικό κόσμο, σε ηλεκτρονική μορφή. Τα παραγόμενα δεδομένα, μετά τη καταγραφή τους συνήθως αναλύονται και επεξεργάζονται για την επίτευξη επιθυμητών αποτελεσμάτων. Τα συστήματα συλλογής δεδομένων αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία ως «Data Acquisition Systems» με συντομογραφία «DAQ» ή «DAS».

Στα συστήματα συλλογής δεδομένων, τα δεδομένα συνήθως καταγράφονται ως σήματα και κυματομορφές και μετά από επεξεργασία των σημάτων εξάγεται η επιθυμητή πληροφορία. Η βασική δομή ενός τέτοιου συστήματος αποτελείται από ηλεκτρονικά εξαρτήματα και από το αντίστοιχο πρόγραμμα υλοποίησης.

Στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στην υλοποίηση ενός συστήματος συλλογής δεδομένων, εντάσσονται τα εξής:

- Αισθητήρες (Sensors, Transducers)
- Ενισχυτές, απομονωτές, φίλτρα κ.α. για τη βελτίωση του σήματος (Signal Conditioning)
- Μετατροπείς Αναλογικού σε Ψηφιακό (A/D Converters)
- Μικροϋπολογιστής
- Μνήμη (RAM, ROM)
- Διασύνδεση με υπολογιστή (σειριακή, USB ,GPIB)

Υπάρχουν επίσης έτοιμα συστήματα τα οποία συμπεριλαμβάνουν όλα τα παραπάνω ηλεκτρονικά στοιχεία σε μία συσκευή, κυρίως από εταιρείες εξειδικευμένες στη κατηγορία αυτή, και το μόνο που χρειάζεται από το τελικό χρήστη είναι η διασύνδεση της συσκευής με τους αισθητήρες της επιλογής του και τον υπολογιστή.



Εικόνα 1.1: Διασύνδεση DAQ Συσκευής με Υπολογιστή

Όσον αφορά το κομμάτι του λογισμικού, πλέον υπάρχουν έτοιμα εργαλεία τα οποία διευκολύνουν ιδιαίτερα το χρήστη στο να συλλέξει και να επεξεργαστεί δεδομένα. Υπάρχουν εξειδικευμένα πακέτα λογισμικού στην αγορά που ανταποκρίνονται στις παραπάνω ανάγκες. Στα πιο δημοφιλή εντάσσονται το LabVIEW και το MATLAB.

Το LabVIEW είναι λογισμικό της εταιρείας National Instruments το οποίο προσφέρει ένα αρκετά φιλικό περιβάλλον ανάπτυξης στο οποίο ο προγραμματισμός γίνεται με τη χρήση «Block Programming», δηλαδή ο χρήστης δεν έχει παρά να επιλέξει τα κατάλληλα γραφικά στοιχεία και να τα συνδέσει μεταξύ τους για να δημιουργήσει ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα. Αυτός ο τρόπος προγραμματισμού καθιστά το LabVIEW προσιτό σε ένα μεγαλύτερο εύρος χρηστών που θέλουν να ασχοληθούν και να πειραματιστούν στο τομέα αυτό χωρίς να έχουν ιδιαίτερες γνώσεις στο πώς να προγραμματίσουν.

Από την άλλη στο MATLAB, λογισμικό το οποίο παράγει η εταιρεία MathWorks, οι εφαρμογές αναπτύσσονται κυρίως με τη χρήση κώδικα. Σε ορισμένες κατηγορίες της εφαρμογής ο χρήστης έχει τη δυνατότητα ανάπτυξης εφαρμογών με αντίστοιχο τρόπο όπως και στο LabVIEW. Το MATLAB απευθύνεται κυρίως στο επιστημονικό κοινό και αποτελεί ένα από τα δυνατότερα εργαλεία σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές.

1.2. Τύποι DAQ συσκευών

1.2.1. Plug-in Συστήματα Συλλογής Δεδομένων

Οι συσκευές συλλογής δεδομένων του τύπου αυτού είναι σχεδιασμένες να συνδέονται στο εσωτερικό των υπολογιστών, στη μητρική πλακέτα. Σήμερα, τα περισσότερα συστήματα συλλογής δεδομένων είναι σχεδιασμένα να δουλεύουν πάνω σε υποδοχές PCI (Peripheral Component Interconnection). Συστήματα συλλογής δεδομένων έχουν σχεδιαστεί και για άλλου τύπου υποδοχές (όπως EISA, IBM Micro Channel) αλλά η πιο ευρέως γνωστή είναι η PCI.

Σαν κατηγορία, οι plug-in συσκευές προσφέρουν ποικίλες δοκιμαστικές ρουτίνες, υψηλές ταχύτητες και επαρκή ευαισθησία σε μετρήσεις χαμηλού επιπέδου σημάτων σε σχετικά χαμηλό κόστος.

Πλεονεκτήματα:

- Οικονομική μέθοδος μετρήσεων με χρήση υπολογιστή
- Υψηλές ταχύτητες
- Καλό για εργασίες που περιλαμβάνουν χαμηλό αριθμό καναλιών

Μειονεκτήματα:

- Οι επιδόσεις είναι συνήθως επαρκής έως άριστες για το μεγαλύτερο αριθμό εργασιών όμως ο ηλεκτρικός θόρυβος εντός του υπολογιστή περιορίζει τη δυνατότητα διεξαγωγής ευαίσθητων μετρήσεων.
- Το εύρος της τάσης εισόδου περιορίζεται περίπου στα $\pm 10V$
- Δυσκολία στη δημιουργία ή αλλαγή συνδέσεων στα I/O τερματικά της συσκευής

1.2.2. Εξωτερικά Συστήματα Συλλογής Δεδομένων

Αρχικά, η ιδέα ενός εξωτερικού συστήματος συλλογής δεδομένων ήταν ένα αυτοτροφοδοτούμενο σύστημα το οποίο επικοινωνούσε με τον υπολογιστή. Σήμερα, τα εξωτερικά συστήματα συλλογής δεδομένων συνήθως παίρνουν τη μορφή μιας

αυτόνομης μονάδας δοκιμών και μετρήσεων απευθυνόμενη κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές.

Σαν εναλλακτική στα plug-in συστήματα συλλογής δεδομένων, αυτός ο τύπος προσφέρει περισσότερα κανάλια εισόδου – εξόδου (I/O Channels), σημαντικά μεγαλύτερη ευελιξία και ταχύτητες προσαρμοζόμενες σε διαφορετικού είδους εφαρμογές.

Τα σύγχρονα εξωτερικά συστήματα συλλογής δεδομένων προσφέρουν:

- υψηλή ευαισθησία σε χαμηλού επιπέδου σήματα τάσης, κατά προσέγγιση 1 mV ή χαμηλότερου.
- Εφαρμογές που περιλαμβάνουν πολλούς τύπους αισθητηρίων, μεγάλο αριθμό καναλιών ή την ανάγκη για αυτόνομη λειτουργία.
- Εφαρμογές που απαιτούν ακριβή έλεγχο σε πραγματικό χρόνο (real-time control).

Όπως στα plug-in συστήματα, έτσι και στα εξωτερικά, αναγκαία είναι η χρήση υπολογιστή για τη λειτουργία της συσκευής και τη αποθήκευση των δεδομένων. Επίσης, υπάρχουν αρκετές αρχιτεκτονικές κατασκευής και βιομηχανικών εξωτερικών συστημάτων συλλογής δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των VME, VXI, MXI , Compact PCI και PXI. Ορισμένα εξωτερικά συστήματα συλλογής δεδομένων εμπεριέχουν μικροεπεξεργαστές που υποστηρίζουν όλες τις καθιερωμένες διασυνδέσεις ενός υπολογιστή όπως χρήση ποντικιού, πληκτρολογίου, οθόνης και θύρες επικοινωνίας.

Πλεονεκτήματα:

- Πολλαπλές υποδοχές πλακετών επιτρέπουν τη διασύνδεση πλακετών ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες, δίνοντας τη δυνατότητα για εξειδικευμένες εφαρμογές συλλογής δεδομένων και ελέγχου, μεγάλο αριθμό καναλιών κ.α.
- Το σασί προσφέρει ένα ηλεκτρικά πιο ήσυχο περιβάλλον απ' ότι ένας υπολογιστής (ηλεκτρικός θόρυβος), επιτρέποντας έτσι μετρήσεις με μεγαλύτερη ευαισθησία

- Ορισμένα συστήματα έχοντας ειδικό επεξεργαστής και μνήμη μπορούν να υποστηρίξουν καθοριστικής σημασίας εφαρμογές που απαιτούν μετρήσεις και έλεγχο σε πραγματικό χρόνο (real-time control).

Μειονεκτήματα:

- Το απαραίτητο σασί, τα εξαρτήματα και τα αξεσουάρ έχουν αυξημένο κόστος
- Ορισμένες αρχιτεκτονικές δεν έχουν μεγάλη γκάμα υποστήριξης υλικού, περιορίζοντας έτσι τον εξοπλισμό και τα αξεσουάρ που μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει.

1.2.2.1. Συστήματα Συλλογής Δεδομένων Πραγματικού χρόνου

Ο ακριβής έλεγχος σε πραγματικό χρόνο είναι ένα σημαντικό ζήτημα στην συλλογή δεδομένων και στα συστήματα ελέγχου. Εφαρμογές που απαιτούν έλεγχο σε πραγματικό χρόνο ανταποκρίνονται καλύτερα σε εξωτερικά συστήματα συλλογής δεδομένων απ' ό,τι σε συστήματα που διασυνδέονται σε υπολογιστή (plug-in συστήματα).

1.2.2.2. Διακριτά όργανα

Αρχικά, τα διακριτά ηλεκτρονικά όργανα αποτελούνταν κυρίως από μετρητές ενός καναλιού, πηγής κ.τ.λ. που αποσκοπούσαν κυρίως σε δοκιμαστικές εφαρμογές. Με το πέρασμα των ετών, οι αυξημένες προσθήκες των προδιαγραφών όπως η ανάπτυξη όλο και περισσότερων διασυνδέσεων επικοινωνίας, η προηγμένη τεχνολογία κατασκευής, σχεδιασμού και μετρήσεων των οργάνων έχει εκτείνει τη χρήση και τη λειτουργικότητα των οργάνων αυτών.

Ορισμένα συστήματα αυτού του τύπου προσφέρουν μόνο ένα ή μερικά κανάλια και το κόστος ανά κανάλι είναι υψηλό. Από την άλλη, η προσθήκη πολυπλεκτών μπορεί να μειώσει το κόστος ανά κανάλι επιτρέποντας ένα σετ οργάνων να εξυπηρετεί πολλαπλά κανάλια, διατηρώντας την ακεραιότητα του σήματος. Τα συστήματα αυτά

μπορούν επίσης να συνδυαστούν με υπολογιστές που εμπεριέχουν plug-in συστήματα συλλογής δεδομένων.

Πλεονεκτήματα:

- Το εύρος μετρήσεων και ευαισθησίας που υποστηρίζουν ξεπερνά τα όρια των «standard» plug-in πλακετών και των εξωτερικών συστημάτων συλλογής δεδομένων.
- Κατάλληλα για μετρήσεις τάσεως, ρεύματος, αντίστασης, χωρητικότητας, θερμοκρασίας κ.τ.λ.

Μειονεκτήματα:

- Σε γενικές γραμμές είναι πιο αργά από τα plug-in και τα εξωτερικά συστήματα συλλογής δεδομένων.
- Είναι πιο ακριβά από τα «standard» συστήματα συλλογής δεδομένων όσον αφορά το κόστος ανά κανάλι.

1.2.2.3. Υβριδικά Συστήματα Συλλογής Δεδομένων

Τα υβριδικά συστήματα αποτελούν την πλέον πρόσφατη λύση και βασίζονται πάνω στη λογική των εξωτερικών συστημάτων ελέγχου. Ένα τυπικό υβριδικό σύστημα συνδυάζει ένα περιβάλλον χρήσης τύπου DMM (Digital Multi-Meter) με αρκετές λειτουργίες συλλογής δεδομένων και δυνατότητες επέκτασης σε μικρό σχετικά μέγεθος. Περιλαμβάνουν λειτουργίες όπως μέτρηση AC και DC τάσεως και ρεύματος, θερμοκρασίας, συχνοτήτων κ.α.

Πλεονεκτήματα:

- Προσφέρουν ακρίβεια, εύρος μετρήσεων και ευαισθησία αντίστοιχη με τη κατηγορία των διακριτών οργάνων και ανώτερη των κλασσικών εξοπλισμών συλλογής δεδομένων.

- Εμπεριέχουν ενσωματωμένη μνήμη και πρόγραμμα για καταγραφή δεδομένων (data logging) και έλεγχο διεργασιών.
- Χαμηλό κόστος ανά κανάλι

Μειονεκτήματα:

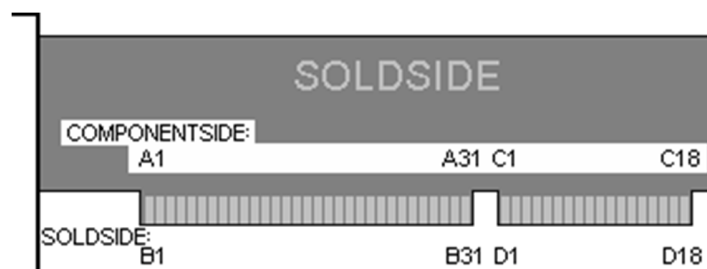
- Πιο αργά από τα plug-in και τα εξωτερικά συστήματα

1.3. Δίαυλοι και πρωτόκολλα επικοινωνίας

Καθ' όλη την ιστορική εξέλιξη των υπολογιστών, έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός εσωτερικών διαύλων επικοινωνίας στους υπολογιστές. Η ISA (Industry Standard Architecture) και η PCI (Peripheral Component Interconnect) είναι οι δύο πιο κοινές αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των προϊόντων συλλογής δεδομένων.

1.3.1. ISA (Industry Standard Architecture)

Αποτελούσε ένα από τα κυριότερα στοιχεία του αυθεντικού IBM PC (1981), παρόλο που ο όρος "ISA" δεν είχε υιοθετηθεί μέχρι ο συγκεκριμένος δίαυλος να γίνει αρκετά γνωστός. Αρχικά ο ISA είχε αρχιτεκτονική 8-bit και 4.77 MHz σχεδιασμένος να ικανοποιεί τόσο σε βαθμό ταχύτητα όσο και σε μεταφορά δεδομένων που απαιτούσε ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής με 8088 επεξεργαστή. Το 1984 ο ISA αναβαθμίστηκε σε 16-bit αρχιτεκτονική και 8MHz για τον επεξεργαστή 80286 όπου ήταν ενσωματωμένος σε IBM PCs.



Εικόνα 1.2: Πρόσωση ISA

Αν και παλαιού τύπου, συστήματα συλλογής δεδομένων τύπου plug-in με δίαυλο επικοινωνίας ISA υπάρχουν ακόμα και σήμερα. Ορισμένα έχουν κάρτες υποδοχών για 8-bit διασύνδεση αλλά υπάρχει και η επιλογή αλλαγής της κάρτας υποδοχής ώστε να υποστηρίζεται διασύνδεση 16-bit.

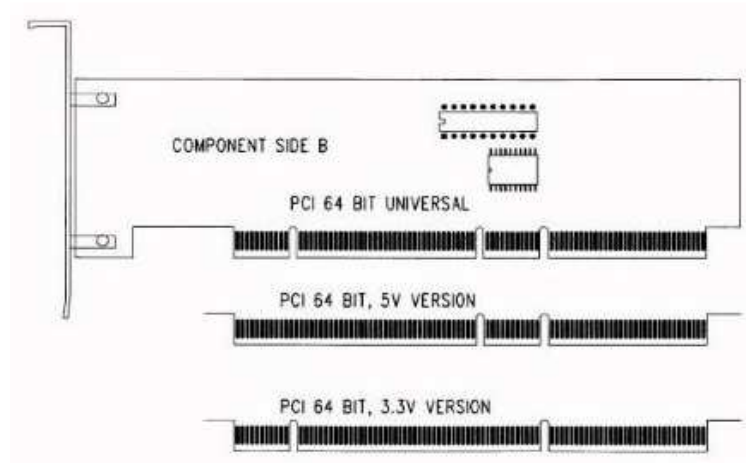


Εικόνα 1.3: Κάτοψη ISA

Δύο λειτουργίες που ξεχώρισαν είναι οι Direct Memory Access (DMA) και Plug-and-Play (PnP). Το DMA βελτιώνει τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των περιφερειακών και της μνήμης, επιτρέποντας σε μία μονάδα επέκτασης να γράψει κατευθείαν στη μνήμη του συστήματος χωρίς τη παρέμβαση του επεξεργαστή. Από την άλλη, η λειτουργία Plug-and-Play επιτυγχάνει την αναγνώριση συσκευών από τον εκάστοτε υπολογιστή αυτόματα και την κατάλληλη ρύθμιση των πόρων του συστήματος (διακοπές, διευθύνσεις μνήμης κ.τ.λ.).

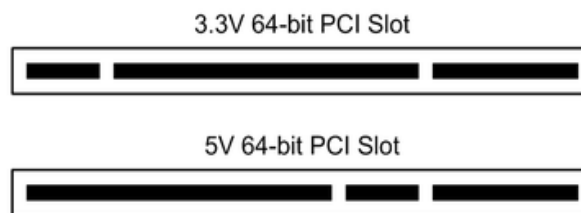
1.3.2. PCI (Peripheral Component Interconnect)

Η Intel δημιούργησε το 32-bit PCI πρότυπο το 1993. Εμφανίστηκε στους πρώτους Pentium υπολογιστές και εξακολούθησε να υφίσταται μεταγενέστερα. Αποτελεί πλέον τον «standard» δίαυλο επικοινωνίας σε όλους τους υπολογιστές από το 2001 μέχρι και σήμερα.



Εικόνα 1.4: Πρόσψη PCI

Προσφέρει σημαντικές βελτιώσεις στο τομέα των επιδόσεων σε σχέση με τον ISA. Ο PCI τρέχει σε ταχύτητες 33MHz συγκριτικά με τα 8MHz του διαύλου ISA. Διαθέτει βελτιωμένες PnP δυνατότητες, αυτόματη ανάθεση διακοπών, I/O διευθύνσεων και DMA καναλιών και οι διακοπές μπορούν και διαμοιράζονται μεταξύ διαφορετικών PCI συσκευών. Διαθέτει επίσης τη λειτουργία «bus mastering», που όπως η λειτουργία DMA, δίνει τη δυνατότητα στις συσκευές PCI να μεταφέρουν δεδομένα κατευθείαν στη μνήμη χωρίς την ανάγκη παρέμβασης από τον επεξεργαστή. Ο βελτιωμένος σχεδιασμός του PCI δίνει τη δυνατότητα ταυτόχρονης χρήσης του «bus mastering» από πολλαπλές συσκευές.

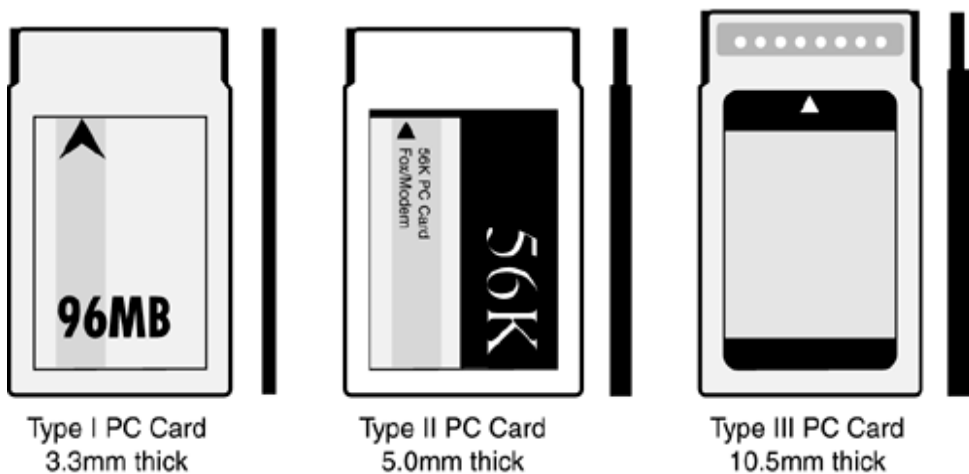


Εικόνα 1.5: Κάτοψη PCI

1.3.3. PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association)

Ο δίαυλος αυτός, αναπτύχθηκε για χρήση σε φορητούς προσωπικούς υπολογιστές. Όσον αφορά την αρχιτεκτονική και τις επιδόσεις, ο PCMCIA συμπεριφέρεται σχεδόν

όπως και ο ISA. Σε γενικές γραμμές έχει λιγότερα να προσφέρει όσον αφορά τον αριθμό καναλιών αλλά προσφέρει υψηλή ποιότητα A/D σε ταχύτητες μεγαλύτερες των 100 kilosamples/ second.



Εικόνα 1.6: Πρόσοψη PCMCIA

Οι συσκευές PCMCIA έχουν το μέγεθος πιστωτικής κάρτας. Αυτές οι μικρού μήκους συσκευές διαθέτουν ορισμένες δυνατότητες που συνήθως βρίσκονται σε κανονικές, μεγάλου μεγέθους συσκευές.

1.4. Συνδεσιμότητα

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται ένα εύρος από εξωτερικούς διαύλους και θύρες επικοινωνίας, διαθέσιμες στους υπολογιστές είτε ως εσωτερικός εξοπλισμός, κατά την αγορά, είτε ως εξωτερικός. Αναλύονται οι παράλληλες θύρες επικοινωνίας, RS-232, RS-422, RS-485, IEEE-488, και οι σχετικά τελευταίας τεχνολογίες Universal Serial Bus (USB), IEEE-1394 FireWire και Ethernet.

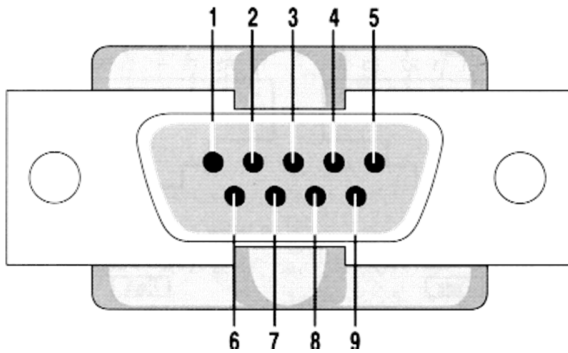
Κοινή Περιγραφή	Βιομηχανική Ονομασία	Μέγιστη Απόσταση	Μέγιστη Ταχύτητα	Χαρακτηριστικά/Πλεονεκτήματα
Serial	RS-232	15 μέτρα	115 Kbits/s	Καθιερωμένο σειριακό πρότυπο. Μια συσκευή ανά υποδοχή.
Serial	RS-422	1220 μέτρα	115 Kbits/s	Ένας πομπός μπορεί να οδηγήσει έως και 10 δέκτες. Απαιτείται RS-422 αντάπτορας.
Serial	RS-485	1220 μέτρα	115 Kbits/s	Υποστηρίζει έως και 32 συσκευές πομπού ή δέκτη σε ένα δίαυλο. Απαιτείται RS-485 αντάπτορας.
Parallel	SPP, EPP, ECP	15 μέτρα	100+ Kb/s	Δημοφιλής σε εκτυπωτές, σκάνερ, οδηγούς δίσκων και άλλα περιφερειακά.
GPIOB	IEEE-488	2 μέτρα	1 MB/s	Καθιερωμένη διασύνδεση σε πολλά όργανα και περιφερειακά επιστημονικού σκοπού. Υποστηρίζει έως και 15 συσκευές σε ένα δίαυλο. Απαιτείται GPIOB αντάπτορας.
Universal Serial Bus	USB	5 μέτρα ανά καλώδιο, 15 μέτρα συνολικά	Από 12 Mbits/s έως 5GB/s ανάλογα τη γενιά	Υποστηρίζει τις λειτουργίες «hot plugging», «PnP» και σύνδεση έως και 127 συσκευές με τη χρήση USB hubs.
FireWire	IEEE-1394	4.5 μέτρα	100-400 Mbits/s έως και 1 Gb/s ανάλογα τη γενιά	Υποστηρίζει τις λειτουργίες «hot plugging», «PnP» και σύνδεση έως και 63 συσκευές.
Ethernet	10BaseT, 100BaseT	925 μέτρα	10 Mbits/s έως 1000 Mbits/s	Καθιερωμένο πρότυπο υψηλών ταχυτήτων.

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά πρωτόκολλων επικοινωνίας

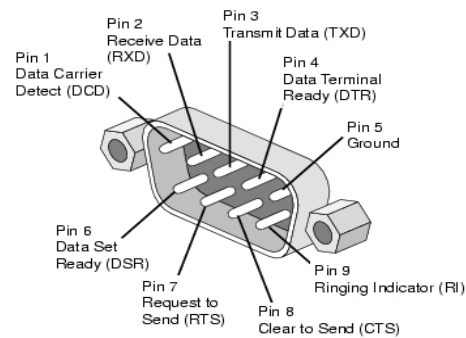
1.4.1. Σειριακές θύρες

Το πρωτόκολλο RS-232 αποτελούσε για πολλά χρόνια την κύρια και πιο συνηθισμένη μέθοδο σειριακής επικοινωνίας στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Εισήλθε στην αγορά το 1962 και εξελίχθηκε σύντομα σε κυρίως χαρακτηριστικό στους υπολογιστές, εκτυπωτές, modems και άλλες συσκευές μετάδοσης δεδομένων.

Αρχικά, αναπτύχθηκε με σκοπό την μετάδοση δεδομένων μεταξύ μίας συσκευής μετάδοσης και μίας συσκευής λήψης με μέγιστη απόσταση μεταξύ τους έως και 15 μέτρα, σε ταχύτητες έως και 19200 bits/second. Αυτές οι αποστάσεις και οι ταχύτητες σύντομα αποδείχθηκαν ανεπαρκείς. Με την περαιτέρω ανάπτυξη του πρωτοκόλλου αυτού, οι ταχύτητες έφτασαν τα 115-230 kbits/second και η απόσταση μεταξύ των δύο συσκευών έφτανε τα 25 μέτρα. Βεβαίως, η δυνατότητα να αγγίζει κανείς αυτές τις προδιαγραφές εξαρτάται από παράγοντες όπως το περιβάλλον και ο τύπος του καλωδίου που χρησιμοποιείται.



Εικόνα 1.7: Πρόσοψη RS-232



Εικόνα 1.8: RS-232 Pins

Ένα άλλο πρότυπο σειριακής επικοινωνίας, το RS-422, είναι παρόμοιο με το RS-232 με τη διαφορά ότι χρησιμοποιεί διαφορετικό τρόπο μετάδοσης δεδομένων. Αυτή η μέθοδος, χρησιμοποιεί 2 ενεργές γραμμές για να μεταδίδει ένα σήμα. Παρέχει μεγαλύτερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων και απόστασης καλωδίου καθώς επίσης υποστηρίζει καλύτερη απόρριψη θορύβου. Οι ταχύτητες με τις οποίες μεταδίδει φτάνουν τα 115 kbits/second με μήκος καλωδίου να φτάνει ως τα 1200 μέτρα.

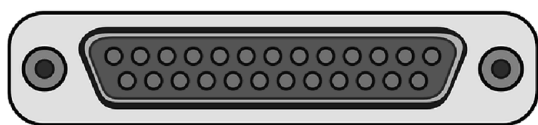
Το RS-485 αποτελεί ένα ακόμη γνωστό πρότυπο σειριακής επικοινωνίας. Εμπεριέχει στοιχεία από το RS-422 με τη διαφορά ότι μπορεί να διαχειριστεί πολλαπλούς δέκτες και πομπούς σε έναν δίαυλο επικοινωνίας. Όπως και το RS-422, χρησιμοποιεί διαφορετική μέθοδο μετάδοσης δεδομένων και έχει ταχύτητες που αγγίζουν τα 115 kbits/second σε απόσταση έως και 1200 μέτρα.

Με τη μόνη εξαίρεση το Ethernet, το RS-422 και RS-485 παρέχουν το καλύτερο συνδυασμό απόστασης και ευκολίας χρήσης σε εφαρμογές συλλογής δεδομένων.

1.4.2. Παράλληλες Θύρες

Η Παράλληλη θύρα επικοινωνίας υπάρχει ενσωματωμένη στους περισσότερους υπολογιστές. Ο αρχικός σκοπός δημιουργίας αυτού του πρωτόκολλου επικοινωνίας προοριζόταν για τη διασύνδεση υπολογιστή και εκτυπωτή με υποδοχή του τύπου Centronics σε απόσταση έως και 15 μέτρα. Με το πέρασμα των ετών, συστήθηκαν και άλλα περιφερειακά με παράλληλη υποδοχή όπως scanners, disk drives κ.τ.λ.

Οι παράλληλοι υποδοχείς χρησιμοποιούν 8 ξεχωριστές γραμμές μετάδοσης, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα μεταφορά ενός byte τη φορά, αποδίδοντας μεγαλύτερες ταχύτητες από το RS-232. Αργότερα συστήθηκε το πρότυπο IEEE-1284 το οποίο εισήγαγε περαιτέρω λειτουργίες στο πρωτόκολλο της παράλληλης επικοινωνίας όπου αύξησε σημαντικά τις ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων.

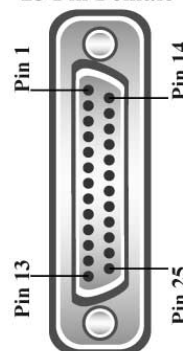


Εικόνα 1.9: Πρόσοψη LPT

LPT Printer Port

Pin 1	Data Strobe
Pin 2	Data 0
Pin 3	Data 1
Pin 4	Data 2
Pin 5	Data 3
Pin 6	Data 4
Pin 7	Data 5
Pin 8	Data 6
Pin 9	Data 7
Pin 10	Acknowledge
Pin 11	Busy
Pin 12	Paper Out
Pin 13	Select
Pin 14	Auto Feed
Pin 15	Error
Pin 16	Init
Pin 17	Select Input
Pin 18-25	Ground

25 Pin Female



Εικόνα 1.10: LPT Pins

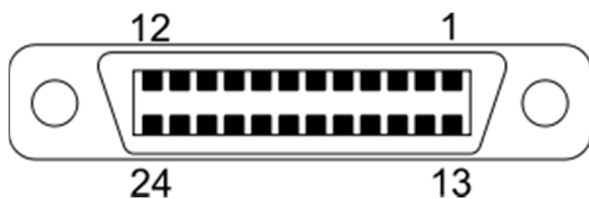
Παρά τις μεγάλες ταχύτητες και την ευρεία διαθεσιμότητα της, η παράλληλη επικοινωνία δεν έγινε ποτέ ιδιαίτερα αποδεκτή στη περίπτωση της διασύνδεσης των συστημάτων συλλογής δεδομένων. Ο λόγος που συνέβη αυτό είναι διότι άλλα

πρότυπα είχαν ήδη μεγαλύτερες, ακόμα και διπλάσιες ταχύτητες, όπως το USB ή το FireWire.

1.4.3. IEEE-488 (GPIB)

Το IEEE-488 αναπτύχθηκε από τη Hewlett-Packard το 1965 αρχικά ονομαζόμενο ως «HP Interface Bus» (HP-IB) με σκοπό τη παροχή ενός «standard» τύπου διασύνδεσης για εργαστηριακά όργανα, καταγραφείς και σχετικό εξοπλισμό. Το IEEE-488 αποδείχθηκε και δημοφιλής αλλά και ευέλικτο, όπου εν τέλει κατέληξε να μετονομαστεί σε GPIB (General Purpose Interface Bus) από την IEEE.

Το GPIB έχει καθιερωθεί στη βιομηχανία για ένα μεγάλο εύρος ηλεκτρονικών συσκευών, συμπεριλαμβανομένων και των προϊόντων συλλογής δεδομένων. Αποτελείται από έναν 8-bit παράλληλο δίαυλο επικοινωνίας που μεταδίδει δεδομένα έως και 1 Mb/sec. Η μέγιστη απόσταση καλωδίου φτάνει τα 2 μέτρα, μπορεί όμως να επεκταθεί έως και 2 χιλιόμετρα με της χρήση έξτρα υλικού.



Εικόνα 1.11: Πρόσοψη GPIB



Εικόνα 1.12: GPIB Pins

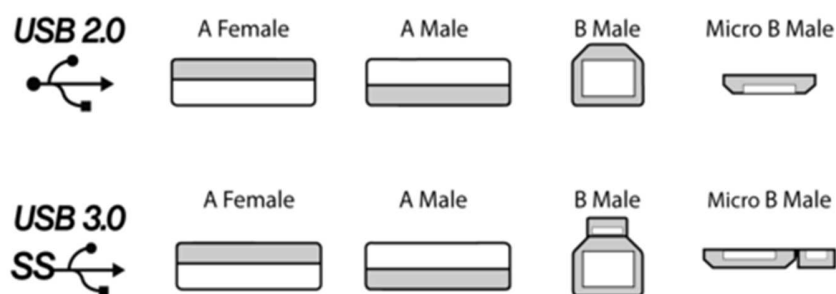
Όσον αφορά τους υπολογιστές, το GPIB δεν υπάρχει στο βασικό εξοπλισμό και συνεπώς για τη διασύνδεση είναι απαραίτητη η χρήση εξωτερικής συσκευής για το

σκοπό αυτό, καθώς επίσης και η εγκατάσταση συγκεκριμένου οδηγού (driver) για την διασύνδεση του υπολογιστή με τα GPIB όργανα. Η διαθεσιμότητα των παραπάνω καλύπτει όλα τα καθιερωμένα πρότυπα (ISA, PCI, PCMCIA) για τις περισσότερες συσκευές συλλογής δεδομένων.

Το 1992, ορισμένοι κατασκευαστές άρχισαν να συστήνουν μια νέα έκδοση του GPIB, υποσχόμενοι μεγαλύτερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων. Η νέα αυτή έκδοση, ονομάστηκε HS-488 και πέρα από αυξημένη ταχύτητα, έφερε περισσότερη σταθερότητα στη μεταφορά των δεδομένων. Παρόλο που το νέο αυτό πρότυπο έγινε σύντομα διαθέσιμο δεν υιοθετήθηκε σε μεγάλη κλίμακα.

1.4.4. Universal Serial Bus (USB)

Το Universal Serial Bus (USB) παρουσιάστηκε το 1995 για να διευθετήσει έναν αριθμό προβλημάτων συνδεσιμότητας που προϋπήρχε στα ήδη υπάρχοντα πρότυπα σειριακής επικοινωνίας. Το USB υποστηρίζει πολλαπλές συσκευές και παρέχει ευκολότερη εγκατάσταση, μεγαλύτερες ταχύτητες αποστολής δεδομένων και πιο απλές καλωδιακές απαιτήσεις, συγκριτικά με αυτές των συμβατικών παράλληλων και σειριακών. Το USB είναι σχεδιασμένο να παρέχει λειτουργική ισχύ κατευθείαν στα περιφερειακά, αποκλείοντας έτσι την ανάγκη για εξωτερικές μονάδες τροφοδοσίας σε ορισμένες περιπτώσεις.



Εικόνα 1.13: Τύποι & Μορφή USB

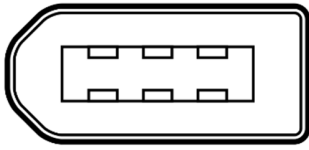
Μπορεί να λειτουργήσει σε αποστάσεις έως και 5 μέτρα ανά καλώδιο και είναι δυνατή η επέκταση του. Οι μέγιστες ταχύτητες για το USB 1.1 είναι 12 Mb/sec, για το USB 2.0 οι ταχύτητες φτάνουν τα 480 Mb/sec και για το καινούργιο πρότυπο USB 3.0 οι ταχύτητες αγγίζουν τα 5 Gb/sec.

Τα περιφερειακά που χρησιμοποιούν USB είναι «hot plug» συσκευές, που σημαίνει πως μπορούν να συνδεθούν και να αποσυνδεθούν από ένα ενεργό PC χωρίς να προκαλείται ζημία στη συσκευή. Επίσης ενσωματώνουν τη λειτουργία «Plug-and-Play» που σημαίνει πως ο υπολογιστής αναγνωρίζει κατευθείαν τη συσκευή χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης συγκεκριμένου οδηγού (driver) στη πλειοψηφία των περιπτώσεων. Αυτές οι λειτουργίες έχουν καθιερώσει τη χρήση του USB ως τη νούμερο ένα επιλογή διασύνδεσης συσκευών τη τελευταία δεκαπενταετία.

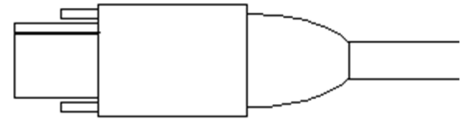
Το USB είναι πλήρως συμβατό με οποιοδήποτε λειτουργικό σύστημα κυκλοφορεί στην αγορά. Οι συσκευές που διαθέτουν τη συγκεκριμένη διασύνδεση καλύπτουν όλη τη γκάμα περιφερειακών, και όχι μόνο, όπως ποντίκια, πληκτρολόγια, εκτυπωτές, ηχεία κ.α. Πλέον οι συσκευές συλλογής δεδομένων χρησιμοποιούν το USB στο μεγαλύτερο ποσοστό τους.

1.4.5. IEEE-1394 FireWire

Το FireWire είναι ένα σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο αποδίδει υψηλές ταχύτητες μεταφοράς και το οποίο είναι πανομοιότυπο με το USB. Αναπτύχθηκε από την Apple για τη χρήση του σε εφαρμογές ψηφιακού ήχου και βίντεο αλλά και για σχετικές εφαρμογές που απαιτούν υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων και έπειτα προτάθηκε σαν πρότυπο στην IEEE. Το 1995, το FireWire έλαβε τη κωδική ονομασία IEEE-1394. Το FireWire προσφέρει μεγάλες ταχύτητες αποστολής δεδομένων, χαμηλού κόστους εσωτερική διασύνδεση και τη δυνατότητα διασύνδεσης έως και 63 συσκευές, με συγκεκριμένη τοπολογία, σε ένα δίαυλο.



Εικόνα 1.14: Πρόσοψη FireWire



Εικόνα 1.15: Καλώδιο και Υποδοχή FireWire

Νέες εκδόσεις και προδιαγραφές έχουν αναπτυχθεί στο πρότυπο FireWire, ωστόσο το αρχικό πρότυπο αποδίδει ταχύτητες από 100 έως 400 Mb/sec και αποστάσεις καλωδίου έως και 4.5 μέτρα. Όπως και στο USB, οι συσκευές που χρησιμοποιούν FireWire έχουν τις δυνατότητες «hot plug» και «Plug-and-Play». Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση FireWire συσκευών είναι πανομοιότυπα σε σχεδιασμό με του USB, παρόλο που τα δύο αυτά πρότυπα είναι εντελώς διαφορετικά τόσο σε φυσικό όσο και σε ηλεκτρικό επίπεδο.

Όσον αφορά τα συστήματα συλλογής δεδομένων, υπάρχουν ορισμένες συσκευές που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο του FireWire όμως η χρήση του δεν έγινε ποτέ ευρέως διαδεδομένη.

1.4.6. Ethernet

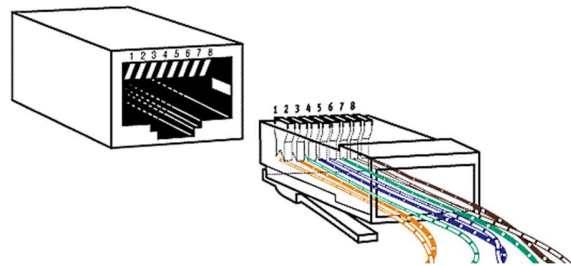
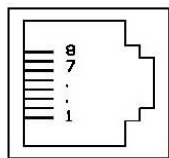
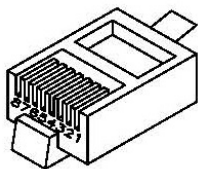
Πολλές εφαρμογές δοκιμών και μετρήσεων απαιτούν τη δυνατότητα ανάκτησης δεδομένων από διαφορετικούς σταθμούς εργασίας, τοποθετημένων σε διαφορετικά σημεία μίας γεωγραφικής περιοχής, σε αποστάσεις μεγαλύτερες από αυτές που μπορεί να καλύψει οποιοδήποτε τυπικό παράλληλο, σειριακό ή GPIB καλώδιο.

Αποστάσεις μεγαλύτερες από μερικά μέτρα μεταξύ οργάνων και αισθητηρίων δύναται να προκαλούν εξασθένιση των σημάτων, αυξημένο θόρυβο, περιορισμό ταχυτήτων στις μετρήσεις και άλλα προβλήματα. Το εύρος και η κλίμακα των περιορισμών αυτών εξαρτάται από το φυσικό περιβάλλον, το τύπο και την ένταση του σήματος καθώς και το μήκος του εκάστοτε καλωδίου.

Υπάρχουν δυο επιλογές για τη διατήρηση της ακεραιότητας του σήματος, όπου μεγάλες αποστάσεις διαχωρίζουν τον υπολογιστή με τους αισθητήρες. Η πρώτη είναι

να προσαρμοστεί και να μετατραπεί το σήμα στη τοποθεσία του αισθητήρα, σε μορφή τέτοια που δεν μπορεί να επηρεαστεί από δυσμενείς παράγοντες, και έπειτα να μεταδοθεί στη κεντρική μονάδα μετρήσεων με τη χρήση των προαναφερόμενων μεθόδων.

Η άλλη επιλογή αποτελείται από το συνδυασμό του δικτύου και του συστήματος συλλογής δεδομένων. Τα συστήματα συλλογής δεδομένων που χρησιμοποιούν δικτυακή επικοινωνία πρέπει να έχουν συγχρονιστεί με τις κατάλληλες ρυθμίσεις τόσο για τη χρήση τους με τη μέθοδο TCP/IP όσο και για Ethernet



Εικόνα 1.16: Υποδοχή & Πρόσοψη Θύρας Ethernet

Εικόνα 1.17 Διασύνδεση Ethernet

Οι ταχύτητες μετάδοσης των δεδομένων με τη χρήση αυτού του πρωτοκόλλου επικοινωνίας εξαρτώνται καθαρά από τη σύνδεση στο δίκτυο που έχει ο εκάστοτε υπολογιστής. Ένα ελάττωμα αυτής της μεθόδου αφορά τη συλλογή δεδομένων και τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο, καθώς δεν υπάρχει αξιοπιστία λόγω της πιθανότητας απώλειας δεδομένων.

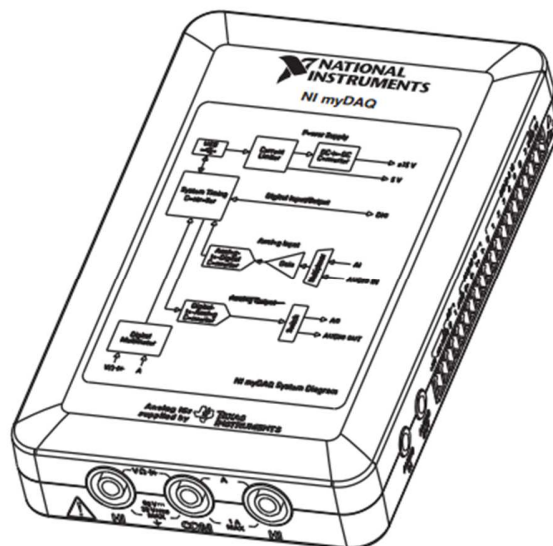
1.5. Το NI myDAQ

1.5.1. Τι Είναι το NI myDAQ

Το NI myDAQ είναι μια χαμηλού κόστους συσκευή συλλογής δεδομένων με τη χρήση της οποίας καθίσταται εφικτή η μέτρηση και η ανάλυση φυσικών μεγεθών και

σημάτων. Με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού είναι δυνατή η ανάλυση και επεξεργασία των μετρήσεων που έχουν συλλεχθεί.

Περιλαμβάνει αναλογικές εισόδους (Analog Inputs), αναλογικές εξόδους (Analog Outputs), ψηφιακές εισόδους και εξόδους (Digital Inputs and Outputs), εισόδους και εξόδους ήχου και δυνατότητες ψηφιακού πολύμετρου σε μια φορητή USB συσκευή. Τα ενσωματωμένα ψηφιακά κυκλώματα που παρέχονται από τη Texas Instruments αποτελούν τα δομικά υλικά για τη κατασκευή της συσκευής αυτής.



Εικόνα 1.18: Το NI myDAQ

Με τη βοήθεια του λογισμικού LabVIEW το NI myDAQ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παλμογράφος (Oscilloscope) , ψηφιακό πολύμετρο (Digital Multi-meter), γεννήτρια συναρτήσεων (Function Generator), αναλυτής Bode διαγραμμάτων (Bode analyzer) και δυναμικών σημάτων (Dynamic Signal Analyzer), παραγωγός τυχαίων κυματομορφών (Arbitrary Waveform Generator) κ.α.

Συγκεκριμένα περιλαμβάνει:

- 2 κανάλια εισόδου και εξόδου (200 ks/s , 16-bit, +/- 10V)
- 8 γραμμές ψηφιακών εισόδων και εξόδων (3.3V, TTL – Compatible)

- +5, +15 και -15V τάσεις τροφοδοσίας (έως και 500 mW ενέργεια)
- 60V ψηφιακό πολύμετρο για μέτρηση τάσεως, ρεύματος και αντίστασης.

1.5.2. Συνδεσιμότητα και Υλικό

1.5.2.1. Analog Input (AI)

Υπάρχουν δύο κανάλια αναλογικής εισόδου στο NI myDAQ. Αυτά μπορούν να ρυθμιστούν είτε ως γενικής χρήσης τάσεις είτε ως είσοδοι ήχου. Οι αναλογικές εισοδοί πολυπλέκονται σε ένα μόνο αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα σήματος (ADC – Analog to Digital Converter) που χρησιμοποιείται για την δειγματοληψία των δύο καναλιών.

Σε λειτουργία γενικής χρήσης, είναι εφικτή η μέτρηση σημάτων τάσεως έως $\pm 10V$. Στην λειτουργία ήχου, τα δύο κανάλια αντιπροσωπεύουν την αριστερή και δεξιά στερεοφωνική γραμμή εισόδου στάθμης. Στις αναλογικές εισόδους καθίσταται δυνατή η μέτρηση σημάτων έως και 200 Ks/s (Kilosamples/second) ανά κανάλι.

1.5.2.2. Analog Output (AO)

Στο NI myDAQ υπάρχουν δυο κανάλια αναλογικής εξόδου. Τα κανάλια αυτά μπορούν να διαμορφωθούν είτε ως τάσεις εξόδου γενικού σκοπού είτε έξοδοι ήχου. Τα δυο αυτά κανάλια έχουν ένα μετατροπέα σήματος ψηφιακού σε αναλογικό (DAC – Digital to Analog Converter)

Στη λειτουργία γενικής χρήσης, επιτρέπεται η αναπαραγωγή σημάτων έως και $\pm 10V$. Στη λειτουργία ήχου, τα δύο κανάλια αντιπροσωπεύουν αριστερά και δεξιά τις στερεοφωνικές εξόδους.

1.5.2.3. Digital Input/Output (DIO)

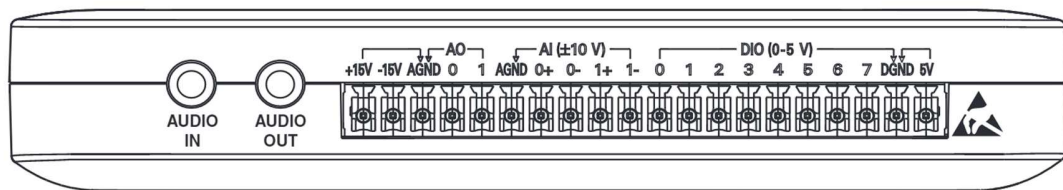
Υπάρχουν οκτώ γραμμές DIO στο NI myDAQ. Κάθε γραμμή έχει τη δυνατότητα να είναι και προγραμματιζόμενη που σημαίνει ότι μπορεί να διαμορφωθεί ως γενικής

χρήσης ψηφιακή είσοδος/έξοδος ή να λειτουργεί σαν ειδικής λειτουργίας είσοδος/έξοδος σε έναν ψηφιακό μετρητή.

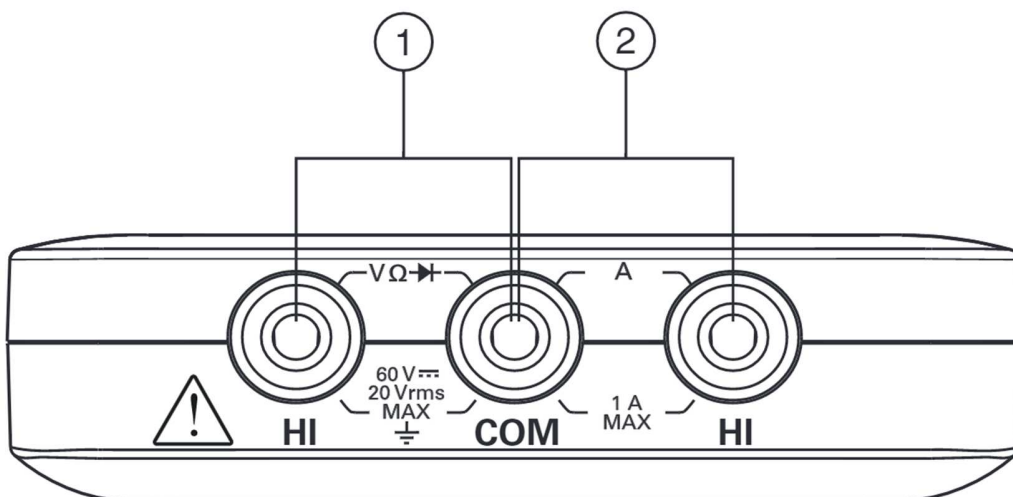
1.5.2.4. Digital Multimeter (DMM)

Η δυνατότητα του ψηφιακού πολύμετρου παρέχει λειτουργίες για τη μέτρηση τάσεως (συνεχής και εναλλασσόμενης), ρεύματος (συνεχούς και εναλλασσόμενου), αντίστασης και πτώσεως τάσης διόδου. Οι μετρήσεις που λαμβάνει το ψηφιακό πολύμετρο είναι χρονικά εξαρτώμενες από το λογισμικό, δηλαδή η ταχύτητα ενημέρωσης των μετρήσεων επηρεάζονται από το φόρτο εργασίας του υπολογιστή.

1.5.2.5. Πίνακας Χαρακτηριστικών



Εικόνα 1.19: Τερματικά και I/O υποδοχές



Εικόνα 1.20: Υποδοχείς Ψηφιακού Πολύμετρου

Όνομα Σήματος	Κατεύθυνση	Περιγραφή
AUDIO IN	Είσοδος	Είσοδος ήχου – Δεξιά και αριστερή είσοδος ήχου σε στερεοφωνικό υποδοχέα
AUDIO OUT	Έξοδος	Έξοδος ήχου – Δεξιά και αριστερή έξοδος ήχου σε στερεοφωνικό υποδοχέα
+15V / -15V	Έξοδος	+15V / -15V τροφοδοσία
AGND	—	Αναλογική γείωση – Τερματικό αναφοράς για τα AI, AO, +15V και -15V
AI 0+/AI 0 -; AI 1+/AI 1-	Είσοδος	Είσοδος αναλογικών καναλιών 0 και 1
AO 0/AO 1	Έξοδος	Έξοδος αναλογικών καναλιών 0 και 1
DIO <0..7>	Είσοδος ή έξοδος	Ψηφιακά Σήματα Εισόδου/Εξόδου – Γενικού σκοπού ψηφιακές γραμμές ή σήματα μετρητών
DGND	—	Ψηφιακή Γείωση – Αναφορά για τις γραμμές DIO και τροφοδοσία +5V
5V	Έξοδος	5V τροφοδοσία

Πίνακας 1.2: Περιγραφή Σημάτων και Υποδοχών

Όνομα Σήματος	Κατεύθυνση	Περιγραφή
HI (VΩ)	Είσοδος	Θετικό τερματικό για μέτρηση τάσης, αντίσταση, διόδου.
COM	—	Αναφορά για όλες τις μετρήσεις με χρήση του ψηφιακού πολύμετρου
HI (A)	Έξοδος	Θετικό τερματικό για μέτρηση ρεύματος

Πίνακας 1.3: Περιγραφή Σημάτων Ψηφιακού Πολύμετρου

2. Η θεωρία του Ήχου

2.1. Περί Σημάτων

2.1.1. Σήματα και Συστήματα

Ως σήμα μπορεί να οριστεί ένα φυσικό μέγεθος το οποίο μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το χρόνο ή οποιασδήποτε άλλη μεταβλητή. Επί της ουσίας, τα σήματα αναπαρίστανται με τη χρήση μαθηματικών εξισώσεων. Έστω το σήμα:

$$x(t) = t^2$$

Στη παραπάνω εξίσωση, η μεταβλητή t ονομάζεται ανεξάρτητη μεταβλητή, ενώ αντίθετα η $x(t)$ ονομάζεται εξαρτημένη, διότι η τιμή αυτής εξαρτάται εξ' ολοκλήρου από τις μεταβολές της t . Παραδείγματα σημάτων μπορούν να θεωρηθούν η ανθρώπινη ομιλία, οι σεισμικές δονήσεις κ.α.

Ως σύστημα ορίζεται μια οντότητα η οποία διεγείρεται μέσω ενός σήματος $x(t)$ και παράγει ένα άλλο σήμα $y(t)$.



Εικόνα 2.1: Μορφή Συστήματος

Το σήμα $x(t)$ που προκαλεί τη διέγερση ονομάζεται είσοδος του συστήματος, ενώ το σήμα $y(t)$ που παράγεται ονομάζεται έξοδος.

Η έννοια του συστήματος είναι ευρύτερη και χρησιμοποιείται διαρκώς στη καθημερινότητα των ανθρώπων. Συνήθως χρησιμοποιείται για τη περιγραφή ενός συνόλου ή λειτουργιών. Η έννοια αυτή περιορίζεται αυστηρώς στη Θεωρία του

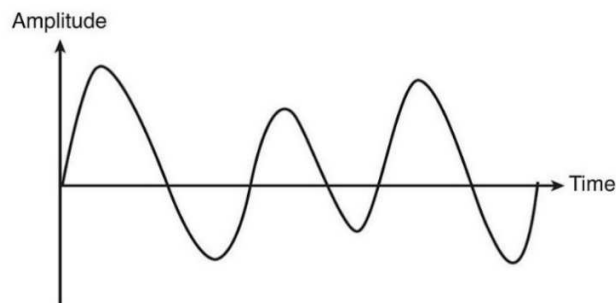
Ελέγχου και περιγράφει την οντότητα αυτή που επεξεργάζεται, καταγράφει, μεταβάλλει και μεταδίδει σήματα.

Παραδείγματα:

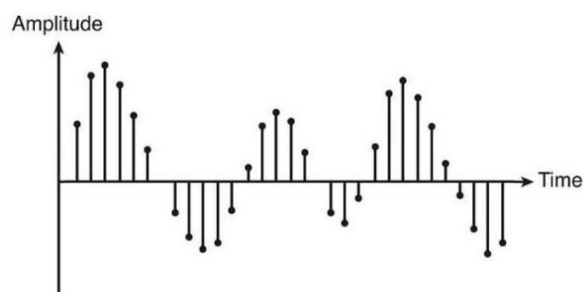
- Ένα σύστημα καταγραφής ήχου το οποίο δέχεται ως είσοδο ένα ακουστικό σήμα και παράγει στην έξοδο του μια σειρά από δυαδικούς αριθμούς (bits).
- Ένα σύστημα τηλεφωνικής επικοινωνίας το οποίο μεταφέρει πληροφορία (το σήμα φωνής) από ένα σημείο σε ένα άλλο.

2.1.2. Σήματα Συνεχούς και Διακριτού Χρόνου

Μία είναι η θεμελιώδης διαφορά που διαχωρίζει τα σήματα συνεχούς και διακριτού χρόνου. Στα συνεχή σήματα η ανεξάρτητη μεταβλητή t μπορεί και δέχεται οποιαδήποτε τιμή ενός διαστήματος $[a b]$, ενώ στα διακριτά σήματα η ανεξάρτητη μεταβλητή n λαμβάνει μόνο συγκεκριμένες τιμές (ιδίας περιόδου μεταξύ τους) εντός διαστήματος $[a b]$.



Εικόνα 2.2: Αναλογικό σήμα



Εικόνα 2.3: Ψηφιοποιημένο σήμα

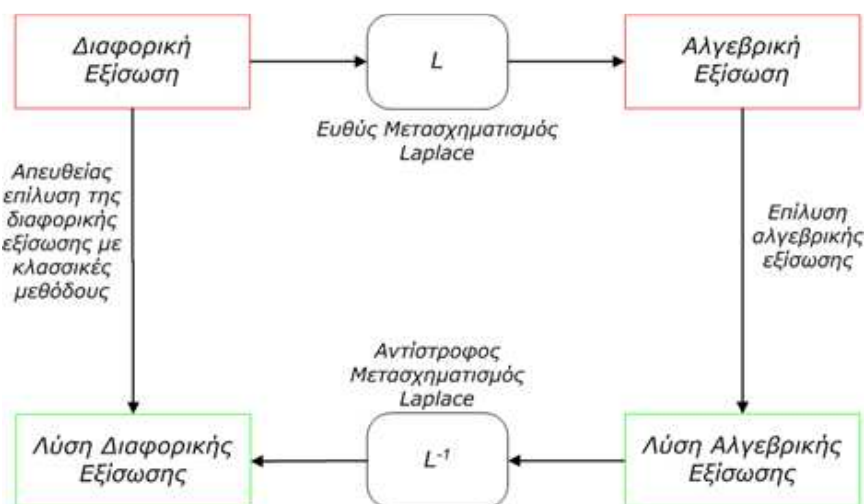
Τα σήματα συνεχούς χρόνου περιγράφονται από Διαφορικές Εξισώσεις και μπορούν να μεταφερθούν στο πεδίο των συχνοτήτων για επεξεργασία μέσω του Μετασχηματισμού Laplace.

Από την άλλη, τα σήματα διακριτού χρόνου περιγράφονται με τη χρήση Εξισώσεων Διαφοράς και μεταφέρονται στο πεδίο των συχνοτήτων με τη χρήση του Μετασχηματισμού Z

2.1.3. Μετασχηματισμός Laplace και Z

Μια από τις σημαντικότερες έννοιες στο τομέα της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων είναι αυτή του Μετασχηματισμού Laplace και Z αντίστοιχα. Όπως αναφερθήκαμε προηγουμένως, ο Μετασχηματισμός Laplace εφαρμόζεται σε σήματα συνεχούς χρόνου ενώ αντίθετα στα διακριτά σήματα εφαρμόζεται ο Μετασχηματισμός Z

Έχοντας ένα σύστημα το οποίο περιγράφεται από Διαφορικές Εξισώσεις ή Εξισώσεις Διαφορών, είναι αρκετά περίπλοκο να το αναλύσουμε δουλεύοντας πάνω στο πεδίο του χρόνου, ορισμένες φορές ακόμα και αδύνατο. Αυτό το πρόβλημα έρχονται να μας λύσουν οι παραπάνω μετασχηματισμοί, μετατρέποντας ουσιαστικά τις παραπάνω εξισώσεις σε Αλγεβρικές στο πεδίο των συχνοτήτων.



Εικόνα 2.4: Μέθοδος επίλυσης Διαφορικής Εξίσωσης - Μετασχηματισμός Laplace

Αυτή η μέθοδος μας δίνει τη δυνατότητα να επεξεργαστούμε τα σήματα και τα συστήματα υπό εξέταση με μεγάλη ευκολία και να μελετήσουμε σημαντικά χαρακτηριστικά, όπως η ευστάθεια, αιτιότητα κ.τ.λ.

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε τη διαδικασία που ακολουθείται με σκοπό την επίλυση μιας διαφορικής εξίσωσης με τη χρήση του Μετασχηματισμού Laplace. Παρατηρούμε ότι για να αποκτήσουμε την Αλγεβρική Εξίσωση πρέπει να εφαρμόσουμε Μετασχηματισμό Laplace στη Διαφορική Εξίσωση. Εν τέλει, αφότου λύσουμε την Αλγεβρική Εξίσωση εφαρμόζουμε αντίστροφο Μετασχηματισμό Laplace για να επαναφέρουμε το σήμα μας από το πεδίο των συχνοτήτων στο πεδίο του χρόνου.

2.1.4. Φίλτρα

Στην θεωρία των σημάτων, ως φίλτρο ορίζεται ένα σύστημα το οποίο επιδρά με συγκεκριμένο και προκαθορισμένο τρόπο στο σήμα εισόδου, με σκοπό τη μεταβολή της συμπεριφοράς του σήματος εξόδου.

Υπάρχουν δυο βασικές υλοποιήσεις φίλτρων, τα αναλογικά και τα ψηφιακά. Τα αναλογικά φίλτρα βασίζονται σε συνδεσμολογίες κυκλωμάτων όπου βασικά εξαρτήματα τους είναι οι Αντιστάσεις (R), τα πηνία (L), οι πυκνωτές (C) και οι τελεστικοί ενισχυτές. Από την άλλη, τα ψηφιακά φίλτρα εφαρμόζονται με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών ή μικροελεγκτών και η υλοποίησή τους βασίζεται στη χρήση μαθηματικών συναρτήσεων πάνω στο σήμα εισόδου.

Παρόλο που η φιλοσοφία των αναλογικών και των ψηφιακών φίλτρων παραμένει κοινή, η αναλογική προσέγγιση σε μερικές περιπτώσεις είναι δύσκολο ή ακατόρθωτο να πραγματοποιηθεί. Η χρήση των ψηφιακών φίλτρων αποτελεί πλέον τη κύρια λύση στην εφαρμογή φίλτρων λόγω της πολύ μεγάλης ακρίβειας, της σταθερής λειτουργίας και του χαμηλότερου κόστους έναντι των αναλογικών φίλτρων.

2.2. Ο Ήχος

2.2.1. Η Έννοια του Ήχου

Αυτό που αποκαλούμε οι άνθρωποι «ήχος» στη πραγματικότητα δεν είναι άλλο παρά οι μεταβολές της πίεσης του ατμοσφαιρικού αέρα. Αυτές οι μεταβολές μεταδίδονται με τη μορφή ηχητικών κυμάτων. Η παραγωγή των ηχητικών κυμάτων γίνεται από σώματα τα οποία εκτελούν μηχανικές ταλαντώσεις ή αλλιώς δονήσεις.

Η ταχύτητα του ήχου στον ατμοσφαιρικό αέρα δεν είναι σταθερή και εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη πίεση του αέρα. Σε θερμοκρασία 20 °C η ταχύτητα του ήχου είναι 1.235 km/h.

Στους ανθρώπους, τα ηχητικά κύματα εισέρχονται από το εξωτερικό μέρος του αφτιού και κρούουν τη μεμβράνη του τυμπάνου θέτοντας τη σε κίνηση. Αυτή την ενέργεια την αποκαλούμε και δόνηση. Ο αριθμός των δονήσεων αυτών ανά δευτερόλεπτο υποδεικνύει τη συχνότητα του ήχου και μονάδα μέτρησης της είναι τα Hertz.

2.2.2. Ακουστό Φάσμα

Ο όρος «Ακουστό Φάσμα» ορίζει το διάστημα μεταξύ της μικρότερης και της μεγαλύτερης συχνότητας ήχου που μπορεί να γίνει αντιληπτή από έναν άνθρωπο ή ένα ζώο. Σε γενικές γραμμές η μέση συχνότητα που δύναται να αντιληφθεί ένας άνθρωπος βρίσκεται μεταξύ 20 Hz και 20.000 Hz. Το εύρος αυτό διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο καθώς επίσης σε μεγαλύτερες ηλικίες η αντίληψη των υψηλών συχνοτήτων φαίνεται να εξασθενεί. Ήχοι άνω ή κάτω των προαναφερόμενων ορίων ονομάζονται υπέρηχοι και υπόηχοι αντίστοιχα.

Μια εφαρμογή που κάνει χρήση του ακουστού φάσματος μπορεί να χαρακτηριστεί η συμπίεση ενός ψηφιακού ηχητικού σήματος. Στη περίπτωση αυτή αποκόβονται οι συχνότητες πάνω από 20 KHz, καθώς οι συχνότητες πάνω από αυτό το επίπεδο δε μπορούν να γίνουν αισθητές από την ανθρώπινη ακοή και συνεπώς δεν επηρεάζεται

το τελικό αποτέλεσμα. Ο αλγόριθμος συμπίεσης ήχου MP3 εφαρμόζει ακριβώς αυτή τη τακτική, αποκόβοντας ήχους πάνω από 18 KHz ή ακόμη και πάνω από 16 KHz όταν η συμπίεση γίνεται στα 128 kbits/s.

2.2.3. Ηχητικά Πρότυπα

2.2.3.1. Μονοφωνία – 1 Κανάλι

Αποτελεί την απλούστερη και παλαιότερη μορφή μετάδοσης ήχου. Στη περίπτωση αυτή υπάρχει μόνο ένα κανάλι μεταφοράς του ηχητικού σήματος το οποίο περιέχει όλη την επιθυμητή πληροφορία.

2.2.3.2. Stereo – 2 Κανάλια

Ο στερεοφωνικό ήχος αποτελείται από δύο διαφορετικά κανάλια μεταφοράς του ηχητικού σήματος, το αριστερό και το δεξί. Τα κανάλια αυτά μεταφέρουν διαφορετική πληροφορία το καθένα. Για τη δημιουργία στερεοφωνικού ήχου απαιτείται καταγραφή από δύο διαφορετικά σημεία ηχογράφησης. Η εμφάνιση του στερεοφωνικού ήχου έγινε αρχικά λόγω της ανάγκης να αποδίδεται διαφορετικός ήχος από τη δεξιά ή την αριστερή πλευρά σε κινηματογραφικές σκηνές. Αυτή η καινοτομία, με το πέρασμα των ετών, ξεκίνησε να ενσωματώνεται όλο και περισσότερο στη καθημερινότητα μας μέχρι που έγινε ένα οικιακό «standard».

2.2.3.3. Dolby Surround – 2+2 Κανάλια

Το Dolby surround αποτελεί την εξέλιξη του στερεοφωνικού ήχου. Στη περίπτωση αυτή έχουν προστεθεί δύο επιπλέον κανάλια ήχου, απαριθμώντας συνολικά τέσσερα, το δεξί και το αριστερό, ένα κεντρικό και ένα περιφερειακό κανάλι. Από το κεντρικό κανάλι μεταδίδονται όλοι οι ήχοι που μπορεί να υπάρχουν στο σήμα προς μετάδοση. Το περιφερειακό κανάλι (surround) στις υλοποιήσεις του αποτελείται από ένα ζευγάρι ηχείων τοποθετημένο στο πίσω πλαϊνό τμήμα του χώρου όπου βρίσκεται ο ακροατής.

Με τον τρόπο αυτό, ο ακροατής νιώθει ότι περιβάλλεται από τη μουσική γύρω του, και ως αποτέλεσμα να έχει μια εντελώς διαφορετική αίσθηση ακουστικότητας.

2.2.4. Πρότυπα Συμπίεσης

Από την άνθιση της ψηφιακής εποχής, ανέκαθεν υπήρχε το πρόβλημα του χώρου και της ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων. Στη περίπτωση των ψηφιακών ηχητικών σημάτων, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές συμπίεσης δεδομένων οι οποίες διακρίνονται σε 2 βασικές κατηγορίες, τις «μη απωλεστικές» (lossless) και τις «απωλεστικές» (lossy). Το κύριο χαρακτηριστικό και στις δυο περιπτώσεις είναι πως κατά τη διαδικασία της συμπίεσης, με χρήση lossless τεχνικής τα δεδομένα δεν αλλοιώνονται καθόλου και συνεπώς μετά την αποσυμπίεση η πληροφορία επανέρχεται στην ακριβή μορφή που είχε προτού συμπιεστεί, ενώ με χρήση lossy τεχνικής κατά τη διαδικασία της συμπίεσης απορρίπτεται κομμάτι της πληροφορίας το οποίο δεν είναι χρήσιμο.

Ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό στη συμπίεση των ηχητικών δεδομένων είναι το φαινόμενο της ηχητικής σκίασης (auditory masking). Σε ένα ηχητικό σήμα, όταν υπάρχει ένας ήχος συγκεκριμένης συχνότητας και έντασης, το ανθρώπινο αφτί, από τη φύση του, απομονώνει τις υπόλοιπες συχνότητες και εστιάζει στη συγκεκριμένη με αποτέλεσμα να χάνει πληροφορία. Η ηχητική σκίαση αποσκοπεί στην αφαίρεση τέτοιων περιπτώσεων συχνοτήτων, καθώς επίσης και στην αφαίρεση αυτών που δεν γίνονται έτσι και αλλιώς αντιληπτοί από το ανθρώπινο αφτί.

Η ηχητική σκίαση εφαρμόζεται άμεσα τόσο στο πρότυπο συμπίεσης AC-3 Dolby Digital όσο και στο πρότυπο MPEG. Οι διαφορές μεταξύ αυτών των δυο προτύπων βρίσκονται στο τρόπο υλοποίησης, αν και λειτουργούν με την ίδια φιλοσοφία, διαχωρίζοντας το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων σε μπάντες, για να καταφέρουν με χρήση διάφορων αλγορίθμων να απορρίψουν τις συχνότητες που δεν είναι αντιληπτές από τον άνθρωπο.

Ενδεικτικά γίνεται μια περιγραφή κάποιων από τα πιο δημοφιλή πρότυπα συμπίεσης.

2.2.4.1. MPEG (Motion Picture Experts Group)

Η ανάπτυξη του αρχικού πρότυπου ξεκίνησε το 1987 και από εκεί και έπειτα έχουν αναπτυχθεί διάφορα πρότυπα πάνω σε αυτό. Το πρότυπο MPEG-1 Audio μπορεί να εφαρμοστεί πάνω σε ένα ή δύο κανάλια ήχου, με 16 bit κωδικοποίηση και συχνότητα δειγματοληψίας μεταξύ των τιμών 32kHz, 44kHz ή 48kHz.

Το πρότυπο MPEG-1 διακρίνεται σε Audio Layer I, Audio Layer II και Audio Layer III. Το πρότυπο MPEG-1 Audio Layer I είχε εφαρμογή σε συστήματα συμπίεσης ψηφιακών κασετών, ενώ το MPEG-1 Audio Layer II είχε εφαρμογή στο ψηφιακό ραδιόφωνο όπου η ποιότητα του ήχου βρισκόταν κοντά σε αυτή του CD. Τέλος, το πρότυπο MPEG-1 Audio Layer III, ή αλλιώς MP3, έχει τη καλύτερη δυνατή απόδοση μεταξύ των παραπάνω με αυξημένη συμπίεση και ποιότητα ανάλογη με αυτή των CD.

2.2.4.2. FLAC (Free Lossless Audio Codec)

Αποτελεί το πιο δημοφιλές μη απωλεστικό (lossless) πρότυπο, αναδεικνύοντας το ως το καταλληλότερο πρότυπο αποθήκευσης ήχου χωρίς απώλειες. Σε αντίθεση με τα WAV αρχεία ήχου, τα οποία στην ουσία δεν έχουν δεχτεί καμία απολύτως επεξεργασία, τα FLAC είναι επεξεργασμένα και συνεπώς καταλαμβάνουν αρκετά λιγότερο χώρο από τα WAV διατηρώντας όμως τη ποιότητα του ήχου ανέπαφη.

2.2.4.3. WMA (Windows Media Audio)

Με την επικείμενη αύξηση της χρήσης των απωλεστικών μεθόδων συμπίεσης ήχου, η Microsoft δεν έχασε την ευκαιρία να αναπτύξει ένα δικό της πρότυπο συμπίεσης το οποίο προσφέρει αντίστοιχες δυνατότητες με το κοινό σε όλους MP3, το οποίο διαθέτει άριστη ποιότητα αναπαραγωγής καθώς και αρκετά υψηλή συμπίεση. Η χρήση του συγκεκριμένου προτύπου είναι αρκετά κοινή στο λογισμικό Windows καθώς κατά τη διαδικασία μετατροπής ενός CD σε αρχεία ήχου στον υπολογιστή του χρήστη, το τελικό αρχείο καταλήγει να είναι σε αυτή τη μορφή.

2.2.4.4. AC3 Dolby Digital

Αποτελεί ίσως και το πιο δημοφιλή πρότυπο όσον αφορά τη μετάδοση και συμπίεση ήχου σε παραπάνω από 2 κανάλια. Στο πρότυπο αυτό, ο ήχος κωδικοποιείται σε έξι κανάλια στο σύνολο βάσει της τοπολογίας 5.1 (5.1 Surround sound). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, έχουν 3 κανάλια τα οποία μεταδίδουν τη κύρια πληροφορία (αριστερό, κεντρικό, δεξί) καθώς επίσης και 2 ακόμη κανάλια περιβάλλοντος ήχου και ένα ακόμη κανάλι για τις λοιπές συχνότητες. Τα 5 πρώτα κανάλια διαχειρίζονται συχνότητες από 3Hz έως 20kHz, ενώ το τελευταίο κανάλι διαχειρίζεται συχνότητες 3-120Hz και ο ρυθμός δειγματοληψίας του ηχητικού σήματος βρίσκεται στα 48kHz.

2.3. Ψηφιοποίηση Ηχητικού Σήματος

2.3.1. Μετατροπή Αναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό (ADC)

Τα περισσότερα σήματα που παρουσιάζουν πρακτικό ενδιαφέρον είναι αναλογικά όπως για παράδειγμα η ομιλία και ο ηλεκτρισμός. Για να μπορέσουμε να επεξεργαστούμε τα αναλογικά αυτά σήματα με ψηφιακά μέσα, απαιτείται η μετατροπή αυτών σε ψηφιακή μορφή, δηλαδή η μετατροπή τους σε μια ακολουθία αριθμών πεπερασμένης ακρίβειας. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (Analog to Digital Conversion) και τα αντίστοιχα κυκλώματα εφαρμογής της προαναφερόμενης λειτουργίας αποτυπώνονται στη διεθνή βιβλιογραφία ως ADCs.

Η διαδικασία με την οποία πραγματοποιείται η ψηφιοποίηση ενός αναλογικού σήματος περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Δειγματοληψία (Sampling)
- Κβάντιση (Quantization)
- Κωδικοποίηση (Coding)

2.3.1.1. Δειγματοληψία

Μια από τις σημαντικότερες αξιώσεις των αναλογικών σημάτων είναι πως ενώ η διάρκεια ζωής του μπορεί να εκτείνεται έως και κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, οι τιμές που λαμβάνει στη κλίμακα του χρόνου είναι άπειρες. Αυτό καθιστά την επεξεργασία των αναλογικών σημάτων αρκετά δύσκολη και χρονοβόρα.

Αυτό που έρχεται να αλλάξει σε αυτή τη θεώρηση η δειγματοληψία είναι η διακριτοποίηση του αναλογικού σήματος. Με τον όρο διακριτοποίηση εννοούμε την μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε σήμα διακριτού χρόνου, το οποίο έχει συγκεκριμένες σε πλήθος τιμές/δείγματα μέσα σε οποιοδήποτε χρονικό διάστημα οι οποίες απέχουν ισόποσα μεταξύ τους κατά χρόνο T_s .

Η μεταβλητή T_s ονομάζεται περίοδος δειγματοληψίας και ορίζει χονδρικά κάθε πόσο χρονικό διάστημα θα επιλέγεται να μεταφερθεί κάποια τιμή στο χρονικό σημείο T_s από το αναλογικό σήμα στο διακριτό.

Η επιλογή του T_s όμως δε γίνεται τυχαία. Τον τρόπο με τον οποίο επιλέγεται η περίοδος δειγματοληψίας ήρθε να δώσει ο Shannon με το θεώρημα που είναι γνωστό στις μέρες μας ως «Shannon – Nyquist» ή απλώς «Θεώρημα Nyquist». Το θεώρημα αυτό αναφέρει πως για να διακριτοποιηθεί ένα αναλογικό σήμα επιτυχώς, θα πρέπει η συχνότητα δειγματοληψίας να είναι τουλάχιστον 2 φορές μεγαλύτερη από τη μέγιστη συχνότητα του αναλογικού σήματος,

$$f_s \geq 2f_{max} \quad (2.1)$$

όπου f_s η συχνότητα δειγματοληψίας και f_{max} η μέγιστη συχνότητα του αναλογικού σήματος. Έπειτα από την επιλογή της συχνότητας δειγματοληψίας, αυτομάτως βρίσκουμε ποια είναι και η περίοδος δειγματοληψίας με χρήση τη του παρακάτω τύπου.

$$T_s = \frac{1}{f_s} \quad (2.2)$$

Στη ψηφιακή εγγραφή μουσικής οι συχνότητες δειγματοληψίας που συνήθως επιλέγονται βρίσκονται μεταξύ των 22-44 KHz, επιτρέποντας έτσι το ηχητικό φάσμα να περιέχει συχνότητες από 11 έως 22 KHz. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το ανθρώπινο αφτί δε μπορεί να αντιληφθεί συχνότητες μεγαλύτερες των 20 KHz και συνεπώς επιλέγοντας ως συχνότητα δειγματοληψίας τα 44 KHz είμαστε πλήρως καλυμμένοι ως προς τη ποιότητα του ηχητικού αποτελέσματος. Κατά τη διαδικασία της ψηφιοποίησης, το υλικό (hardware) που χρησιμοποιείται καθορίζει το εύρος των τιμών που μπορεί να πάρει το ψηφιοποιημένο σήμα. Οι μετατροπείς αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά (ADCs) έχουν τη δυνατότητα ψηφιοποίησης σε 8 ή 16 bit ανάλογα με το υλικό. Οι περισσότεροι ADCs στις μέρες μας είναι 16 bit και η διαδικασία αυτή αφορά τη κβάντιση, η οποία αναλύεται παρακάτω.

Κανάλια	Δείγμα	Δειγματοληψία	Χρόνος Δείγματος	Μέγεθος Αρχείου
Mono	8bits	11kHz	10 sec	110000 bytes
Stereo	8bits	11kHz	10 sec	220000 bytes
Mono	8bits	22kHz	10 sec	220000 bytes
Stereo	8bits	22kHz	10 sec	440000 bytes
Mono	16bits	44,1kHz	10 sec	882000 bytes
Stereo	16bits	44,1kHz	10 sec	1764000 bytes

Πίνακας 2.1: Μέγεθος αρχείου ψηφιοποιημένων μουσικών κομματιών

Στο παραπάνω πίνακα γίνεται μια αναφορά στις διάφορες περιπτώσεις μουσικών τραγουδιών που μπορεί κανείς να έρθει σε επαφή στη καθημερινότητα του. Η καλύτερη δυνατή απόδοση στο ψηφιοποιημένο σήμα δίνεται με χρήση 44.1 KHz και μέγεθος δείγματος 16 bit σε 2 κανάλια ήχου.

Το μέγεθος ενός ψηφιακού αρχείου υπολογίζεται με τη χρήση της παρακάτω σχέσης:

Χωρητικότητα (bits)

$$= \text{Συχνότητα(Hz)} * \text{Μέγεθος δείγματος(bits)} * \text{Διάρκεια (sec)}$$

2.3.1.2. Κβάντιση

Η φιλοσοφία στην οποία βασίζεται η διαδικασία της κβάντισης είναι αντίστοιχη με αυτή της δειγματοληψίας. Η δειγματοληψία ασχολείται με τη τμηματοποίηση του αναλογικού σήματος αναφορικά με τις τιμές που λαμβάνει το σήμα στη μεταβλητή του χρόνου. Ένα αναλογικό σήμα όμως δε λαμβάνει άπειρες τιμές μόνο στο πεδίο του χρόνου αλλά αντίστοιχα και το πλάτος του μπορεί να λάβει άπειρες τιμές. Σε ένα ημιτονοειδές σήμα το πλάτος μπορεί να πάρει τιμές από -1 έως +1. Αυτό όμως δε σημαίνει πως μεταξύ των δυο αυτών τιμών δε μπορούν να μεσολαβήσουν άπειρες τιμές. Η διαδικασία με την οποία διακριτοποιούνται οι τιμές του πλάτους ενός αναλογικού σήματος ονομάζεται κβάντιση.

Πρέπει να σημειωθεί πως η επιλογή των τιμών για αναπαράσταση του πλάτους στο ψηφιακό σήμα δε γίνεται τυχαία, καθώς εξαρτάται από το μέγεθος των bits που διαθέτει ο μετατροπέας ADC. Για παράδειγμα εάν ο ADC είναι 8 bit τότε η μέγιστη τιμή που μπορεί να μεταφερθεί στο ψηφιακό σήμα θα είναι 2^8 .

2.3.1.3. Κωδικοποίηση

Η κωδικοποίηση δεδομένων χρησιμοποιείται για την μετάδοση των σημάτων (ψηφιακά ή αναλογικά) από μια πηγή (ψηφιακή ή αναλογική) μέσω ενός καναλιού μετάδοσης. Η κωδικοποίηση που επιλέγεται εξαρτάται από τις απαιτήσεις, το επικοινωνιακό σύστημα, το μέσο μετάδοσης και τον διαθέσιμο εξοπλισμό. Η επίτευξη υψηλής απόδοσης όσον αφορά την ισχύ και το εύρος ζώνης κατά τη μεταφορά της πληροφορίας απαιτεί κάποιου είδους επεξεργασία στο τμήμα του πομπού. Η διαδικασία όπου μία πληροφορία μετατρέπεται από την αρχική της μορφή σ' ένα σήμα περισσότερο κατάλληλο για την μεταφορά στο μέσο μετάδοσης ονομάζεται διαμόρφωση (Modulation). Το διαμορφωμένο σήμα το οποίο μεταδίδεται μπορεί να βρίσκεται είτε σε αναλογική είτε ψηφιακή μορφή. Η διαμόρφωση μπορεί να γίνει με τις ακόλουθες μεθόδους:

1. Αναλογική μετάδοση αναλογικού σήματος

- Διαμόρφωση AM (διαμόρφωση πλάτους)
- Διαμόρφωση FM (διαμόρφωση συχνότητας)
- Διαμόρφωση PM (διαμόρφωση φάσης)

2. Αναλογική μετάδοση ψηφιακού σήματος

- Διαμόρφωση ASK (διαμόρφωση πλάτους)
- Διαμόρφωση FSK (διαμόρφωση συχνότητας)
- Διαμόρφωση PSK (διαμόρφωση φάσης)
- Διαμόρφωση QAM (συνδυασμός ASK και PSK)

3. Ψηφιακή μετάδοση αναλογικού σήματος

- Παλμοκωδική Διαμόρφωση - PCM (κάθε κβαντισμένη στάθμη αντιστοιχίζεται σε έναν κωδικό αριθμό, ο οποίος μετατρέπεται πριν την μετάδοση σε δυαδικό.)
- Διαμόρφωση Δέλτα (κωδικοποίηση αναλογικού σήματος σε δυαδικούς αριθμούς.)

Για το ψηφιακό ήχο οι δυνατότητες ποικίλουν από 8bits ($2^8 = 256$ στάθμες) έως και 16bits ($2^{16} = 65536$ στάθμες), με επακόλουθο η χρήση ενός δυαδικού συστήματος να αναδύει καλύτερα αποτελέσματα σε συνάρτηση με την επίδραση του θορύβου σε ένα μέσο μετάδοσης και αυτό γιατί ένα δυαδικό σύμβολο, αντέχει σε μια σχετική υψηλή στάθμη θορύβου καθώς εύκολα μπορεί να αναγεννηθεί.

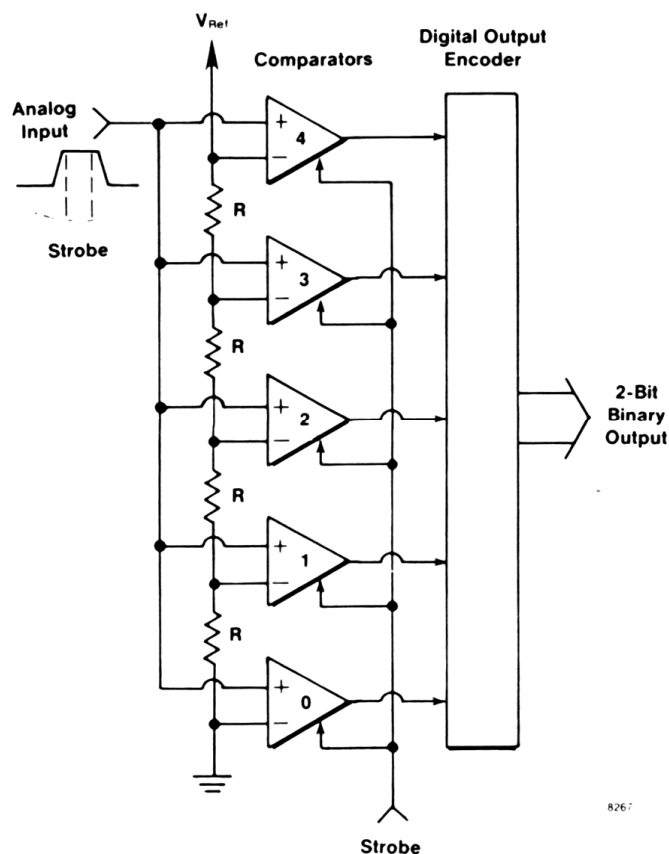
2.3.2. Τύποι ADC Μετατροπών

Οι περισσότεροι μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (Analog to Digital Converter – ADC) είναι διαθέσιμοι στην αγορά σε μορφή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές με τις οποίες υλοποιούνται τα παραπάνω

κυκλώματα, οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη ταχύτητα, ακρίβεια κ.τ.λ. Σημαντικό είναι επίσης να αναφερθεί πως κατά το σχεδιασμό ορισμένων ADCs υπάρχουν υλοποιήσεις οι οποίες χρησιμοποιούν κυκλώματα μετατροπής ψηφιακού σε αναλογικό (Digital to Analog Converter – DAC) για να επιφέρουν αποτέλεσμα. Παρακάτω αναλύονται ορισμένες από τις κυριότερες τεχνικές υλοποίησης των ADC.

2.3.2.1. ADC Παράλληλης Μετατροπής (Flash ADC)

Κατά την τεχνική παράλληλης μετατροπής (flash), το σήμα εισόδου τροφοδοτείται ταυτόχρονα σε μία από τις δύο εισόδους ορισμένων συγκριτών, πλήθους n , των οποίων οι υπόλοιπες εισόδοι συνδέονται σε ισαπέχουσες n τάσεις αναφοράς και στη συνέχεια, με τη χρήση ενός αποκωδικοποιητή παράγεται η ψηφιακή έξοδος.



Εικόνα 2.5: ADC Παράλληλης Μετατροπής

Η μέθοδος της παράλληλης μετατροπής έχει το μειονέκτημα του μεγάλου αριθμού συγκριτών που απαιτούνται για την υλοποίηση της. Συγκεκριμένα, για έναν ADC 4 ψηφίων απαιτούνται $2^4 - 1 = 15$ συγκριτές ενώ για έναν ADC 8 ψηφίων απαιτούνται $2^8 - 1 = 255$ συγκριτές. Από την άλλη, η μέθοδος αυτή είναι η ταχύτερη μέθοδος μετατροπής και στο εμπόριο οι τύποι ADC τέτοιου τύπου που κυκλοφορούν έχουν ανάλυση έως και 10bit, διαθέτοντας παράλληλα πολύ υψηλούς ρυθμούς μετατροπής.

2.3.2.2. ADC Ανάδρασης (Feedback ADC)

Οι μετατροπείς τύπου ανάδρασης, έχουν λάβει αυτή την ονομασία διότι κατά τη διαδικασία της μετατροπής γίνεται χρήση ενός μετατροπέα ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (DAC) εντός ενός βρόχου ανάδρασης. Η πληροφορία που εξάγεται από το DAC έπειτα συγκρίνεται με τη πληροφορία της εισόδου του ADC για να δοθεί τελικά η ψηφιακή έξοδος του ADC. Ορισμένοι μετατροπείς τύπου ανάδρασης είναι και οι τύπου:

- Απαριθμητή (Counter ADC)
- Παρακολούθησης (Tracking ADC)
- Διαδοχικής προσέγγισης (Successive Approximation ADC)

2.3.2.3. ADC Ολοκλήρωσης (Integrating ADC)

Στη τεχνική της ολοκλήρωσης, η τάση της εισόδου μετατρέπεται σε περίοδο χρόνου η οποία έπειτα εισέρχεται σε έναν απαριθμητή. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται πιο πολύ είναι της διπλής κλίσης και της ισορροπίας φορτίου. Παρόλου που οι τεχνικές αυτές δεν είναι ιδιαίτερα γρήγορες στους υπολογισμούς έχουν το θετικό ότι το αποτέλεσμα φέρει υψηλή γραμμικότητα, απόρριψη θορύβου και ακρίβεια καθώς επίσης είναι χαμηλή η πολυπλοκότητα και το κόστος υλοποίησης. Οι εφαρμογές της συγκεκριμένης μεθόδου υλοποίησης αφορούν κυρίως τα ψηφιακά πολύμετρα.

2.3.3. Μετατροπή Ψηφιακού Σήματος σε Αναλογικό (DAC)

Στη θεωρία των ηλεκτρονικών, ένας μετατροπέας ψηφιακού σε αναλογικό (Digital to Analog Converter – DAC) είναι μια διάταξη που μετατρέπει μια ακολουθία ψηφιακού κώδικα (δυναμικούς αριθμούς) σε αναλογικό σήμα (ρεύμα, τάση ή ηλεκτρικό φορτίο). Επί της ουσίας, εφαρμόζει την αντίθετη διαδικασία από αυτή που περιγράψαμε στη προηγούμενη ενότητα.

Σε ένα DAC, κατά τη διαδικασία της μετατροπής καθορίζεται μια κλίμακα, στην οποία αναλογική τάση εξόδου του σήματος είναι 0 όταν όλα τα ψηφία είναι 0 και μέγιστη όταν όλα τα ψηφία είναι 1. Η κλίμακα αυτή μπορεί να αναπαρασταθεί μαθηματικά με τη χρήση της παρακάτω συνάρτησης:

$$V_x = V_{ref}[b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + b_n 2^{-n}] \quad (2.3)$$

Όπου, V_x η αναλογική τάση εξόδου, V_{ref} η τάση αναφοράς, b_1, b_2, b_n η δυαδική ακολουθία.

Η ελάχιστη τάση είναι πάντα 0, ενώ η μέγιστη τάση προσδιορίζεται από το μέγεθος της δυαδικής ακολουθίας διότι όταν όλα τα ψηφία είναι 1, το αντίστοιχο δεκαδικό ισοδύναμο φτάνει κοντά στη τιμή του V_x καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ψηφίων. Έτσι για ένα δυαδικό αριθμό 5 ψηφίων η μέγιστη δυνατή τάση είναι:

$$V_{max} = V_{ref}[2^{-1} + 2^{-2} + 2^{-3} + 2^{-4} + 2^{-5}] = 0,96875V_{ref} \quad (2.4)$$

Ενώ, για δυαδικό αριθμό 8 ψηφίων:

$$V_{max} = V_{ref}[2^{-1} + 2^{-2} + 2^{-3} + 2^{-4} + \dots + 2^{-8}] = 0,9961V_{ref} \quad (2.5)$$

Το σύνολο όλων των δυνατών διαφορετικών συνδυασμών που μπορούν να αποδοθούν στην έξοδο είναι 2^n όπου n ισούται με τον αριθμό των ψηφίων του DAC. Η αναλογική έξοδος λαμβάνει μια και μόνο τιμή από αυτό το συνδυασμό.

Οι τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούνται περισσότερο στις εφαρμογές DAC είναι παράλληλου τύπου. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως όλα τα ψηφία του μετατροπέα αλλάζουν την κατάσταση τους ταυτόχρονα με την εφαρμογή της εκάστοτε εισόδου. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις όπου η λήψη της ψηφιακής ακολουθίας γίνεται σειριακά, δηλαδή κάθε ψηφίο λαμβάνεται το ένα μετά το άλλο.

Όσον αφορά την εφαρμογή των DAC στον ήχο, τα περισσότερα ηχητικά σήματα αποθηκεύονται σε ψηφιακή μορφή και σε ψηφιακά μέσα, όπως το MP3 και το CD. Για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η αναπαραγωγή ενός ηχητικού σήματος από τα ηχεία ή τα ακουστικά ενός χειριστή, θα πρέπει πρώτα να έχει μετατραπεί σε αναλογικό σήμα. Επομένως βρίσκουμε DAC σε CD players, MP3 players και στις κάρτες ήχου των Η/Υ.

Αυτόνομοι DAC βρίσκονται επίσης και σε εξειδικευμένα συστήματα επεξεργασίας ήχου που προορίζονται για ηχητική επεξεργασία υψηλής ποιότητας, όπως επαγγελματικά στούντιο κ.α. Αυτοί οι DAC λαμβάνουν συνήθως την ψηφιακή έξοδο από ένα CD ή MP3 player και μετατρέπουν το σήμα σε αναλογική μορφή η οποία στη συνέχεια μπορεί να εισαχθεί σε κάποιο ενισχυτή.

2.3.4. Τύποι DAC

Παρακάτω αναλύονται κάποιοι από τους σημαντικότερους και πιο διαδεδομένους τύπους μετατροπής ψηφιακού σήματος σε αναλογικό.

Πέραν από τις μεθόδους οι οποίες αναλύονται, υπάρχουν αρκετές ακόμη δημοφιλής υλοποιήσεις όπως αυτές των DAC κλίμακας R-2R, Στοχαστικών DAC, DAC Πολλαπλασιαστή κ.α.

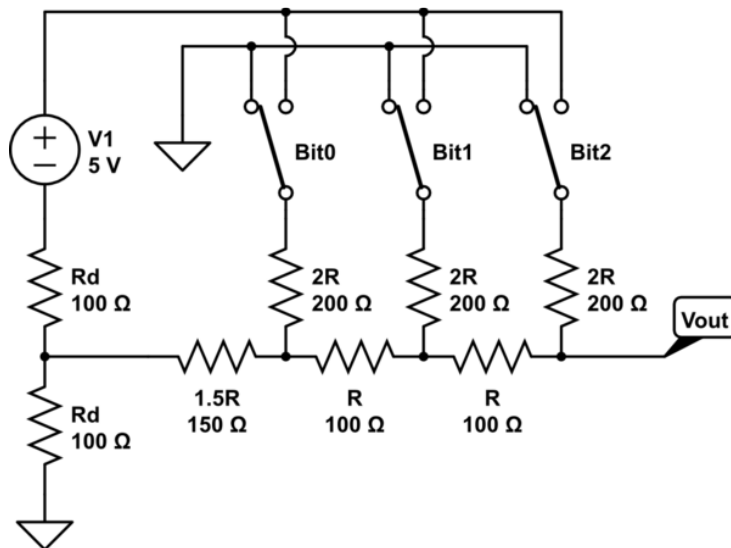
2.3.4.1. Διαμορφωτής Παλμικού Πλάτους (Pulse Width Modulator)

Ο Διαμορφωτής Παλμικού Πλάτους (Pulse Width Modulator) είναι ένας από τους απλούστερους DAC που μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει. Ένα σταθερό ρεύμα ή σταθερή τάση εισάγεται σε ένα χαμηλοπερατό αναλογικό φίλτρο για κάποιο χρονικό διάστημα που καθορίζεται από την ψηφιακή είσοδο. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται

συνήθως για τον έλεγχο της ταχύτητας των ηλεκτροκίνητων κινητήρων, και πλέον είναι κοινή στην επεξεργασία και αναπαραγωγή ήχου υψηλής πιστότητας (High Fidelity Audio – Hi-Fi).

2.3.4.2. Ποτενσιομετρικοί DAC (Potentiometer DAC)

Μια ακόμη από τις απλούστερες υλοποιήσεις είναι ο ποτενσιομετρικός DAC, διότι η υλοποίηση του βασίζεται στην αρχή λειτουργίας του διαιρέτη τάσης. Η ψηφιακή ακολουθία εφαρμόζεται στις θέσεις Bit0, Bit1 και Bit2, όπου στη συνέχεια περνούν από μια σειρά διακοπών.

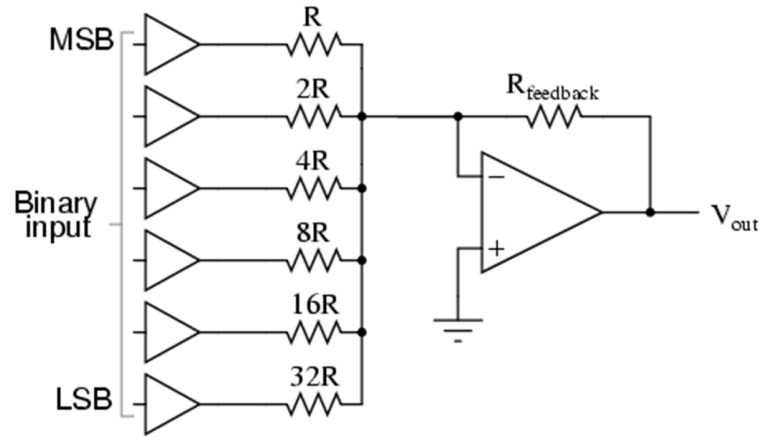


Εικόνα 2.6: Ποτενσιομετρικός DAC 3-bit

2.3.4.3. Δυαδικά Σταθμισμένος DAC (Binary Weighted DAC)

Ο Binary Weighted DAC, περιέχει μία αντίσταση ή πηγή ρεύματος για κάθε bit του DAC που συνδέεται στο σημείο άθροισης. Αυτές οι τάσεις ή τα ρεύματα προστίθενται και έπειτα εμφανίζονται στην έξοδο. Αυτή η μέθοδος είναι από τις γρηγορότερες που υπάρχουν, με το μειονέκτημα όμως ότι έχει χαμηλή ακρίβεια λόγω των αντιστάσεων ή των πηγών ρευμάτων όπου δεν υπάρχει το περιθώριο για αποκλίσεις από τις

υπολογισμένες τιμές. Οι αντιστάσεις ή πηγές ρεύματος υψηλής ακρίβειας είναι ακριβές οπότε αυτός ο τύπος DAC συνήθως περιορίζεται στα 8-bit ή και λιγότερο.



Εικόνα 2.7: Binary Weighted DAC 6-bit

2.3.4.4. Τεχνική Τμηματοποίησης (Segmented DAC)

Ο Segmented DAC, είναι ένας υβριδικός τύπος DAC. Συνδυάζει την αρχή λειτουργίας ενός 'A' τύπου μετατροπής ψηφιακού σε αναλογικό για τα περισσότερα σημαντικά ψηφία με την αρχή λειτουργίας ενός 'B' μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό για τα λιγότερα σημαντικά ψηφία. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατή η χρήση των πλεονεκτημάτων της κάθε διαφορετικής μεθόδου υλοποίησης.

Ψηφιακό Studio επεξεργασίας ήχου με χρήση του NI MyDAQ και LabVIEW

3. Εφαρμογή Επεξεργασίας Ήχου σε Πραγματικό Χρόνο

3.1. Εισαγωγικές Έννοιες

3.1.1. Equalizers

Τα «equalizer» (αντισταθμιστές) δίνουν τη δυνατότητα στο χειριστή να παρέμβει στις συχνότητες των ηχητικών σημάτων έτσι ώστε να μπορεί να μεταβληθεί το τελικό ηχητικό αποτέλεσμα σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες του. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί ορίζοντας κάποια σετ επιπέδων στα οποία παρεμβαίνει ο χειριστής.

Κάποια από τα πιο κλασσικά φίλτρα στην επεξεργασία ήχου είναι αυτά του μπάσου και τρέμουλου φωνής, καθώς είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα και η εφαρμογή τους έχει τα μεγαλύτερα εμφανή αποτελέσματα στα άκρα των συχνοτήτων, δηλαδή στα υψηλότερα των υψηλών συχνοτήτων και στα χαμηλότερα των χαμηλών συχνοτήτων.

3.1.2. Η τεχνική διαίρεσης συχνοτήτων

Παρόλο που τα παραπάνω φίλτρα καλύπτουν ικανοποιητικά αρκετές περιπτώσεις, πολλές φορές αυτό δεν είναι αρκετό. Περαιτέρω ανάλυση και ακρίβεια μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση της τεχνικής διαίρεσης του φάσματος συχνοτήτων σε μικρότερα κλιμάκια, τα οποία ονομάζονται «μπάντες συχνοτήτων».

Αυτό επιτυγχάνεται με τη διάσπαση του ακουστού φάσματος σε πέντε ή περισσότερες μπάντες συχνοτήτων, όπου σε κάθε μια από αυτές θα μπορεί να εφαρμόζεται ενίσχυση ή αποκοπή. Όσες περισσότερες μπάντες είναι διαθέσιμες για προσαρμογή εντός του προκαθορισμένου εύρους συχνοτήτων, τόσο πιο ακριβές είναι το ηχητικό αποτέλεσμα.

Οι συχνότητες των εκάστοτε κλιμάκιων μπορούν να ενισχυθούν ή να αποκοπούν αντίστοιχα μέσω της αύξησης ή της μείωσης του κέρδους τους σε decibels (dB). Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η στοχοποίηση συγκεκριμένων συχνοτήτων σε ένα εύρος με σκοπό την βελτίωση ή τη διαταραχή του ήχου. Στα συστήματα Hi-Fi υπάρχουν αντίστοιχα κουμπιά όπου κάνουν ενίσχυση του μπάσου και αυτό επιτυγχάνεται ενισχύοντας σε decibels τις συχνότητες στα χαμηλότερα επίπεδα του ακουστού

φάσματος. Με αντίστοιχο τρόπο λειτουργεί και το τρέμουλο, ενισχύοντας τις συχνότητες στα υψηλότερα επίπεδα του ακουστού φάσματος.

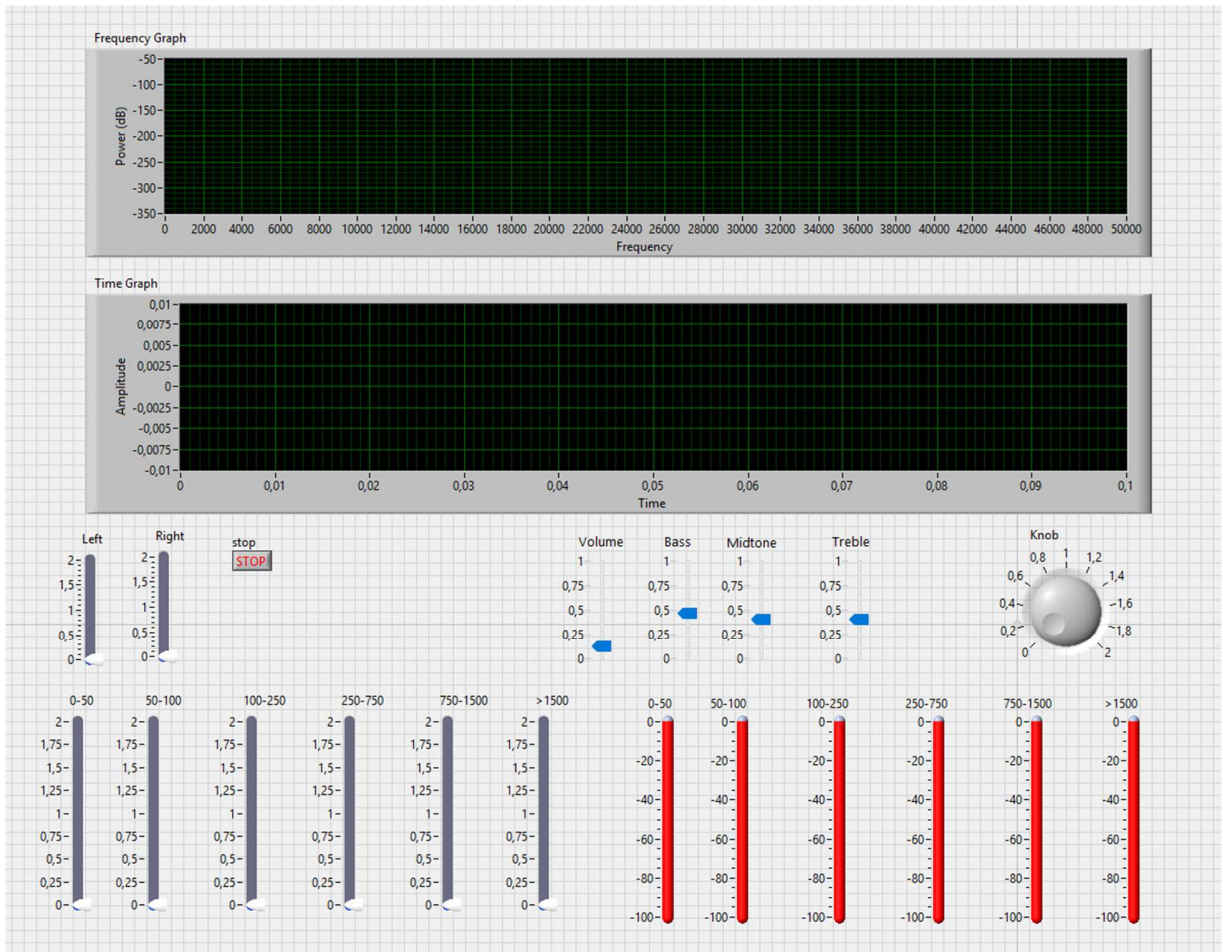
Το αποτέλεσμα της ενίσχυσης ή της αποκοπής συχνοτήτων διαφέρει ανά περίπτωση και είναι ανάλογο του τύπου μουσικής στον οποίο δύναται να γίνει η παραμετροποίηση. Για να δημιουργήσει κανείς το καλύτερο ηχητικό αποτέλεσμα σε «techno» ή χορευτική μουσική, αρμόζει η εφαρμογή υψηλού μπάσου και τρέμουλου, αλλά οι ίδιες ρυθμίσεις συχνοτήτων δε θα μπορούν να εφαρμοστούν π.χ. σε κομμάτια κλασσικής μουσικής ή «Metal». Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε μουσικό όργανο δημιουργεί συχνότητες οι οποίες αποτελούν κομμάτι διαφορετικών και συγκεκριμένων περιοχών στο φάσμα των συχνοτήτων.

3.2. Η Εφαρμογή

Σκοπός του παρόντος είναι η μελέτη, κατανόηση και εφαρμογή των ψηφιακών φίλτρων σε εφαρμογές όπου κύρια μέριμνα του χρήστη είναι η επεξεργασία ήχου. Η εφαρμογή αποτελείται από τρία βασικά μέρη.

- Μεταβολή του παραγόμενου ήχου σε επίπεδο καναλιών.
- Χρήση βασικών φίλτρων.
- Ενίσχυση προκαθορισμένου φάσματος συχνοτήτων του εισαχθέντος σήματος.

Η υλοποίηση του προγράμματος έχει πραγματοποιηθεί με τη χρήση του λογισμικού της National Instruments, LabVIEW καθώς και της συσκευής συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων myDAQ της ίδιας κατασκευαστικής εταιρείας.



Εικόνα 3.1: Front Panel Εφαρμογής

Η φιλοσοφία με την οποία αναπτύχθηκε η εφαρμογή βασίζεται στη χρήση ενός κινητού τηλέφωνα ως τη συσκευή μετάδοσης ήχου. Συνδέοντας την είσοδο «Audio In» του NI myDAQ με την είσοδο ακουστικών του κινητού τηλεφώνου και αναπαράγοντας ένα μουσικό κομμάτι, το NI myDAQ λαμβάνει το ηχητικό σήμα προς επεξεργασία. Για να μπορούμε βέβαια να έχουμε και ηχητικό αποτέλεσμα θα πρέπει να διασυνδέσουμε στην έξοδο «Audio Out» του NI myDAQ ένα σεν ηχείων.

Ο υπολογιστής διαβάζει το ηχητικό σήμα από την συσκευή και με τη χρήση του LabVIEW εφαρμόζεται η επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο με το αποτέλεσμα να αναπαράγεται στα ηχεία που είναι διασυνδεδεμένα με τη συσκευή.

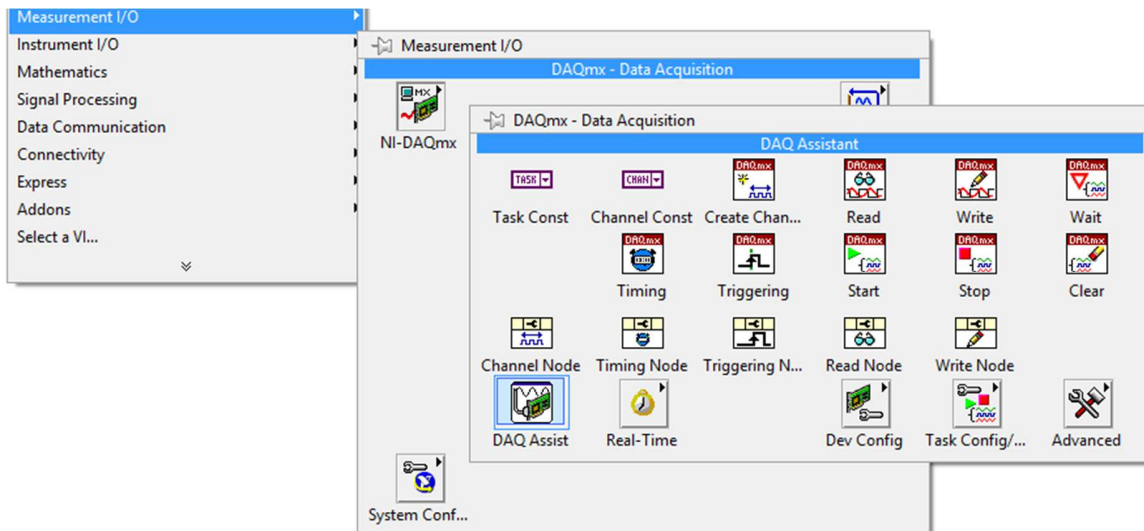
Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια αναφορά στα συστατικά μέλη της εφαρμογής καθώς επίσης και η αντίστοιχη ανάλυση και παρουσίαση τους τόσο στο Front Panel της εφαρμογής όσο και το Block Diagram που αφορά το καθένα.

3.2.1. DAQ Assistant

Για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η παραπάνω υλοποίηση θα πρέπει να δημιουργηθούν 2 «αντικείμενα» στο LabVIEW τα οποία αντιπροσωπεύουν την είσοδο που λαμβάνει το NI myDAQ, το σήμα δηλαδή προς επεξεργασία, και την έξοδο, την αναπαραγωγή του σήματος στα ηχεία.

Το λογισμικό του LabVIEW δίνει τη δυνατότητα να γίνει κλήση των παραπάνω χωρίς πολύπλοκες διαδικασίες, καθώς μπορεί να κληθεί ένα block, το οποίο ονομάζεται «DAQ Assistant», το οποίο αυτοματοποιεί την διαδικασία διασύνδεσης του προγράμματος με τη πραγματική συσκευή.

Η κλήση του DAQ Assistant γίνεται από το block diagram και στη παλέτα των «Functions» όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.

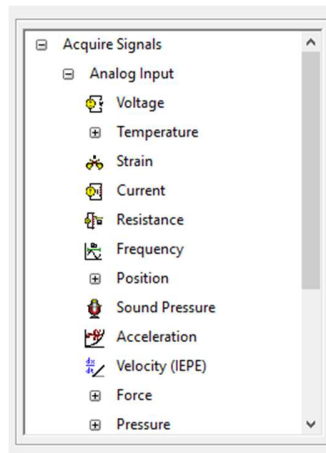


Εικόνα 3.2: DAQ Assist Block

Αμέσως μετά τη κλήση του DAQ Assistant ακολουθεί ένα παράθυρο διαλόγων όπου δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει από ένα εύρος μεταβλητών εισόδων και

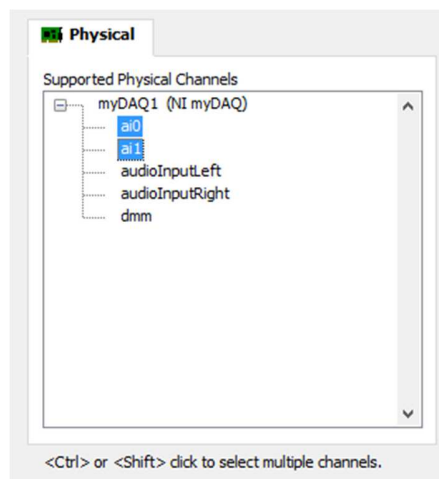
εξόδων. Στη περίπτωση μας, η κλήση του DAQ Assistant θα γίνει δυο φορές. Μια για την ανάθεση της εισόδου και μια για της εξόδου.

Στη πρώτη περίπτωση, στο παράθυρο διαλόγων που εμφανίζεται κατά την επιλογή του DAQ Assistant επιλέγουμε «Acquire Signal→Analog Input→Voltage» για την ανάθεση του τύπου της μεταβλητής εισόδου.



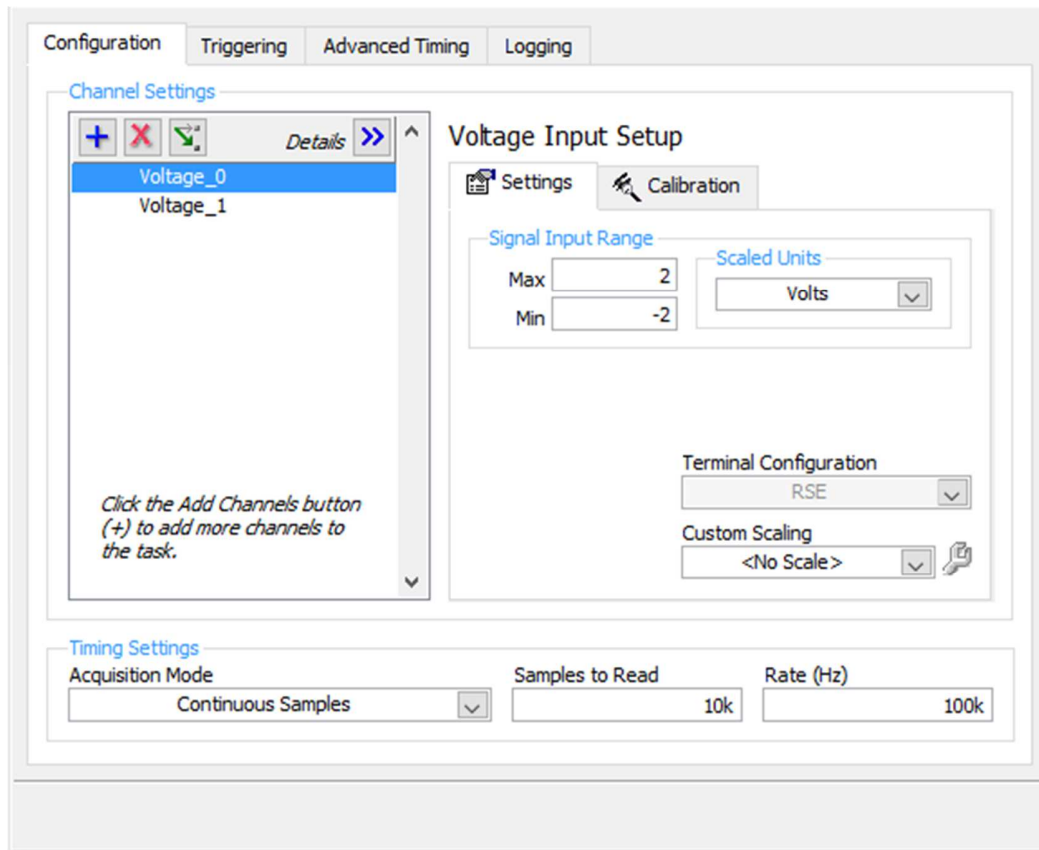
Εικόνα 3.3: DAQ Assistant – Μεταβλητές Εισόδου

Εν συνεχεία, θα πρέπει να προσδιορίσουμε τον αριθμό των καναλιών της εισόδου. Επιλέγουμε δυο κανάλια τα οποία αντιπροσωπεύουν το αριστερό και το δεξί κανάλι ήχου όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 3.4: DAQ Assistant – Επιλογή Καναλιών Εισόδου

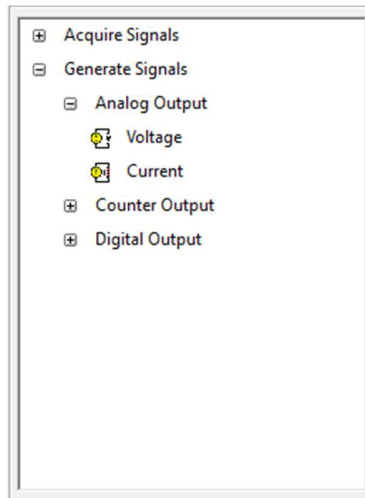
Τέλος, μετά την επιλογή των καναλιών, δίνεται η δυνατότητα ανάθεσης ορισμένων ιδιοτήτων στα επιλεγμένα κανάλια όπως το πλάτος, η συχνότητα κ.α.



Εικόνα 3.5: DAQ Assistant – Ιδιότητες Καναλιών Εισόδου

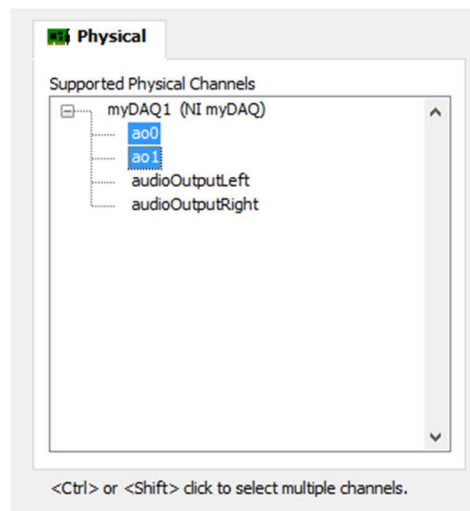
Η παραμετροποίηση στα κανάλια εισόδου είναι αυτή που φαίνεται παραπάνω. Η επιλογή των ρυθμίσεων που φαίνεται στην εικόνα πρέπει να εφαρμοστεί και για τις 2 μεταβλητές εισόδου (Voltage_0, Voltage_1). Πατώντας «OK» στο παράθυρο ολοκληρώνεται η διαδικασία παραμετροποίηση του DAQ Assistant όσον αφορά την είσοδο.

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται για να τη δημιουργία του DAQ Assistant της εξόδου. Μετά τη κλήση του DAQ Assistant στο παράθυρο διαλόγου που εμφανίζεται επιλέγουμε «Generate Signal→Analog Output→Voltage» για την ανάθεση του τύπου της μεταβλητής εξόδου.



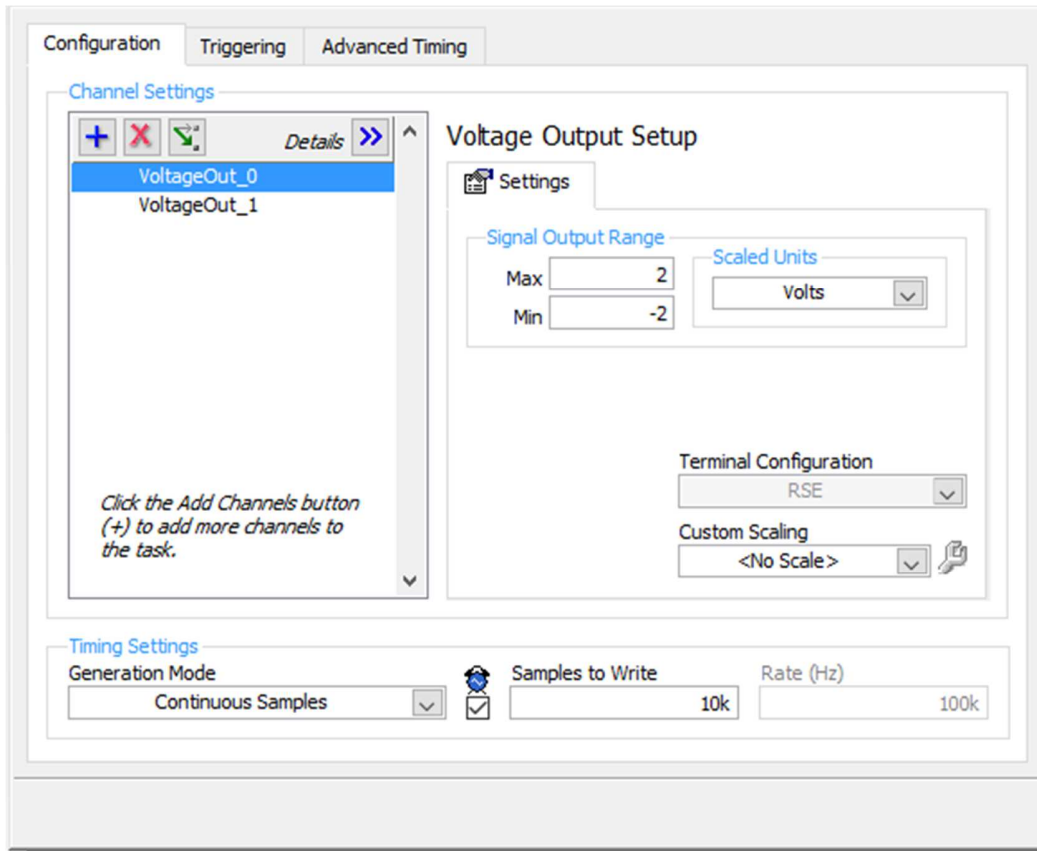
Εικόνα 3.6: DAQ Assistant – Μεταβλητές Εξόδου

Μετά την επιλογή του τύπου της μεταβλητής, επιλέγουμε τον αριθμό των καναλιών που θα έχει η έξοδος



Εικόνα 3.7: DAQ Assistant – Επιλογή Καναλιών Εξόδου

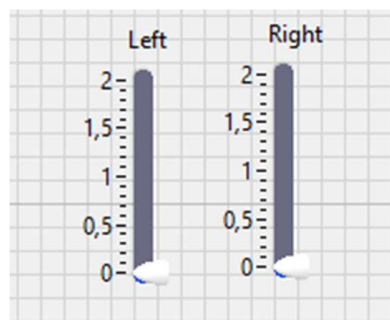
Αντίστοιχα με τη παραμετροποίηση των καναλιών εισόδου, έτσι και στην περίπτωση αυτή πρέπει να ανατεθούν ορισμένες ιδιότητες στα κανάλια εξόδου. Οι ιδιότητες αυτές απεικονίζονται στη παρακάτω εικόνα και πρέπει να εφαρμοστούν και στα 2 επιλεγμένα κανάλια.



Εικόνα 3.8: DAQ Assistant – Ιδιότητες Καναλιών Εξόδου

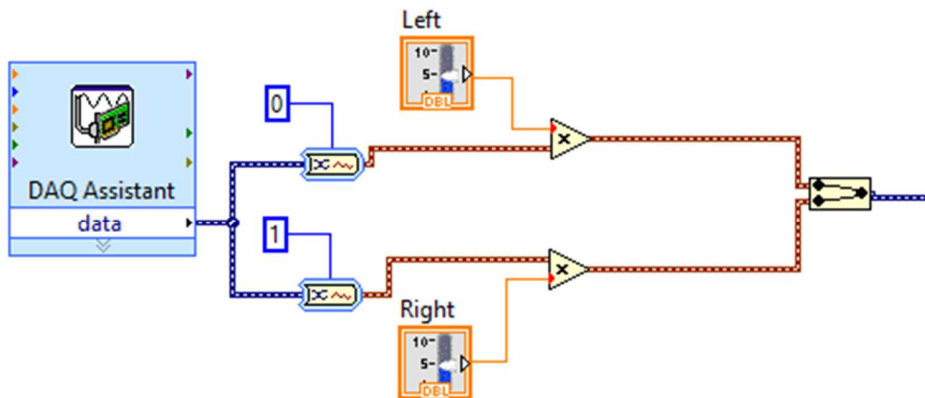
3.2.2. Διαχωρισμός Καναλιών

Σκοπός της συγκεκριμένης λειτουργία είναι ο διαχωρισμός των δυο καναλιών ήχου, το αριστερό και το δεξί, ώστε ο χρήστης αυξομειώνοντας τις τιμές των 2 παρακάτω «Sliders» να μπορεί να ελέγξει ποιο κανάλι θα έχει περισσότερη ή λιγότερη ένταση ή ακόμη και να απομονώσει εντελώς τον ήχο από αυτό.



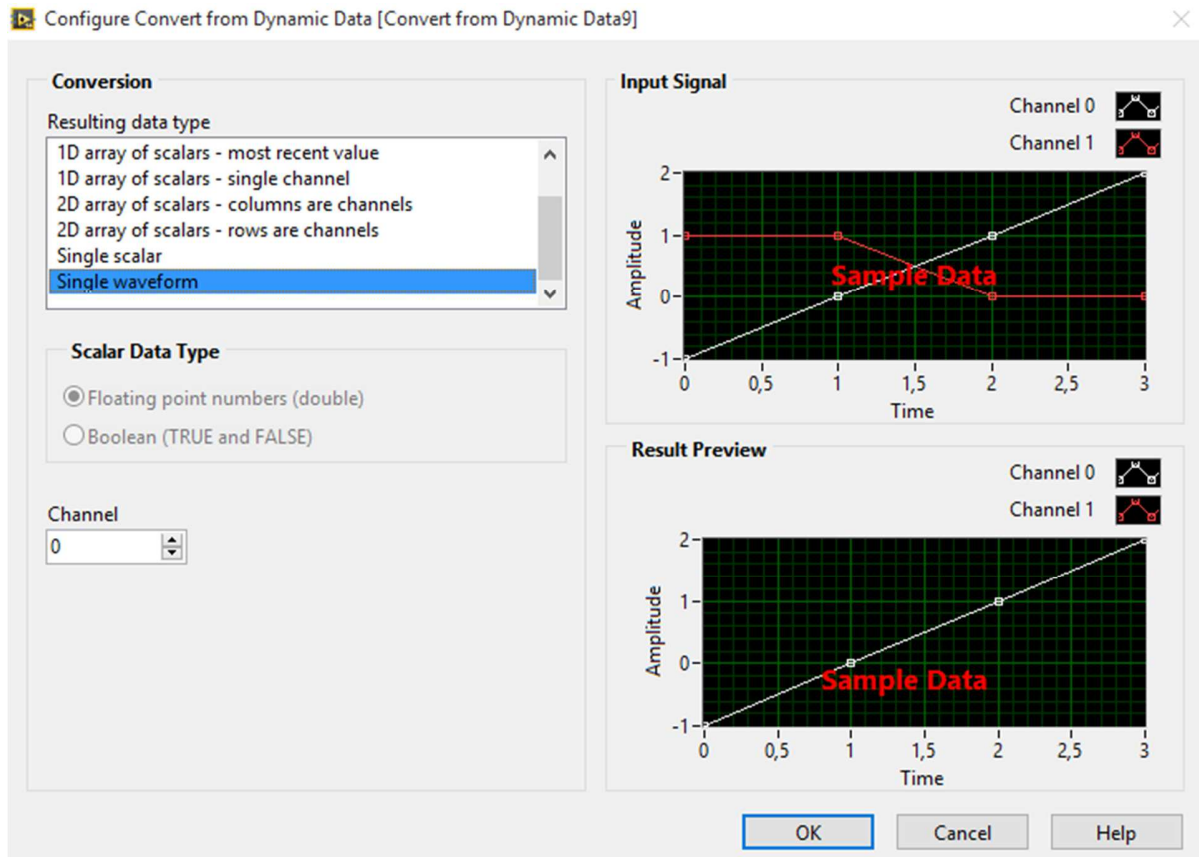
Εικόνα 3.9: Front Panel, Slider Καναλιών

Πρακτικά, το αποτέλεσμα που έχει η λειτουργία αυτή στην ακουστική αφορά το πόσο μονοφωνικά ή στερεοφωνικά θα ακούγεται ο ήχος. Παρακάτω απεικονίζεται το Block Diagram της παραπάνω λειτουργίας.



Εικόνα 3.10: Block Diagram Διαίρεσης Καναλιών

Για τη δημιουργία του παραπάνω, θα πρέπει πρώτα απ' όλα να κληθεί ο DAQ Assistant της εισόδου. Έπειτα από «Functions→Express→Signal Manipulation» γίνεται η κλήση του converter «From DDT» που σημαίνει «From Dynamic Data Type». Αυτό το block αποσκοπεί στη διαίρεση ενός πολυμεταβλητού σήματος εισόδου σε σήμα μιας εισόδου – μιας εξόδου. Αμέσως μετά τη κλήση του παραπάνω εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο όπου πρέπει να οριστεί τι τύπου θα είναι η μεταβλητή εξόδου. Στη περίπτωση μας ο τύπος που επιλέγουμε είναι «Single Waveform».



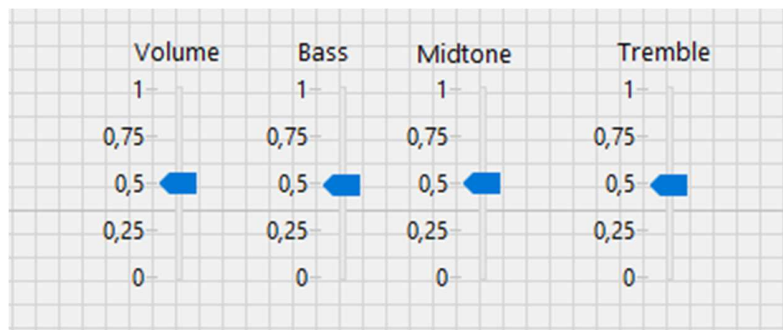
Εικόνα 3.11: From DDT - Επιλογή τύπου δεδομένων εξόδου

Όπως φαίνεται και στο Block Diagram η κλήση του «To DDT» γίνεται δυο φορές, και αυτό για να μπορούμε να συλλέξουμε τη πληροφορία του σήματος εισόδου και από τα δυο κανάλια ξεχωριστά. Δημιουργούμε δυο πολλαπλασιαστές όπου φτιάχνουμε και τα αντίστοιχα «Controls» όπου στο «Front Panel» αντιπροσωπεύουν τα «Sliders». Τα δυο αυτά ξεχωριστά σήματα, έπειτα συνενώνονται χάρη στη χρήση του block «Merge Signals» το οποίο βρίσκεται στο «Functions→Express→Signal Manipulation».

Με τον τρόπο αυτό γίνεται δυνατή η μεταβολή της έντασης του κάθε καναλιού ξεχωριστά χωρίς να μεταβληθεί ή να παραμορφωθεί το σήμα εισόδου.

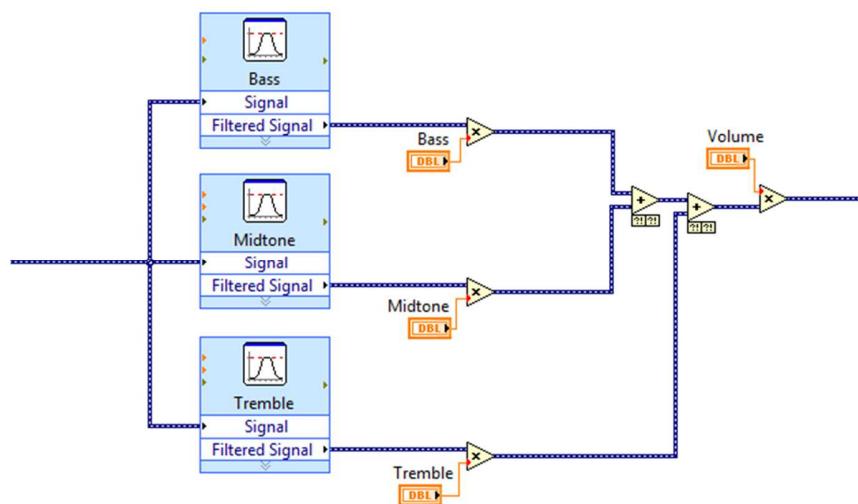
3.2.3. Φίλτρα Μπάσου, Ενδιάμεσου Τόνου, Τρέμουλου

Σε αυτή την ενότητα γίνεται ανάλυση των πιο σύνθητες φίλτρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην επεξεργασία ήχου. Τα φίλτρα μπάσου, ενδιάμεσου τόνου και τρέμουλου χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα στη αγορά, τόσο στη πρωτογενή τους μορφή όσο και σε παραποιώσεις τους. Μαζί με τα παραπάνω φίλτρα έχει τοποθετηθεί και ένας ρυθμιστής έντασης ο οποίος αποσκοπεί στην αυξομείωση της έντασης του παραγόμενου ήχου.



Εικόνα 3.12: Front Panel φίλτρων μπάσου, ενδιάμεσου τόνου και τρέμουλου

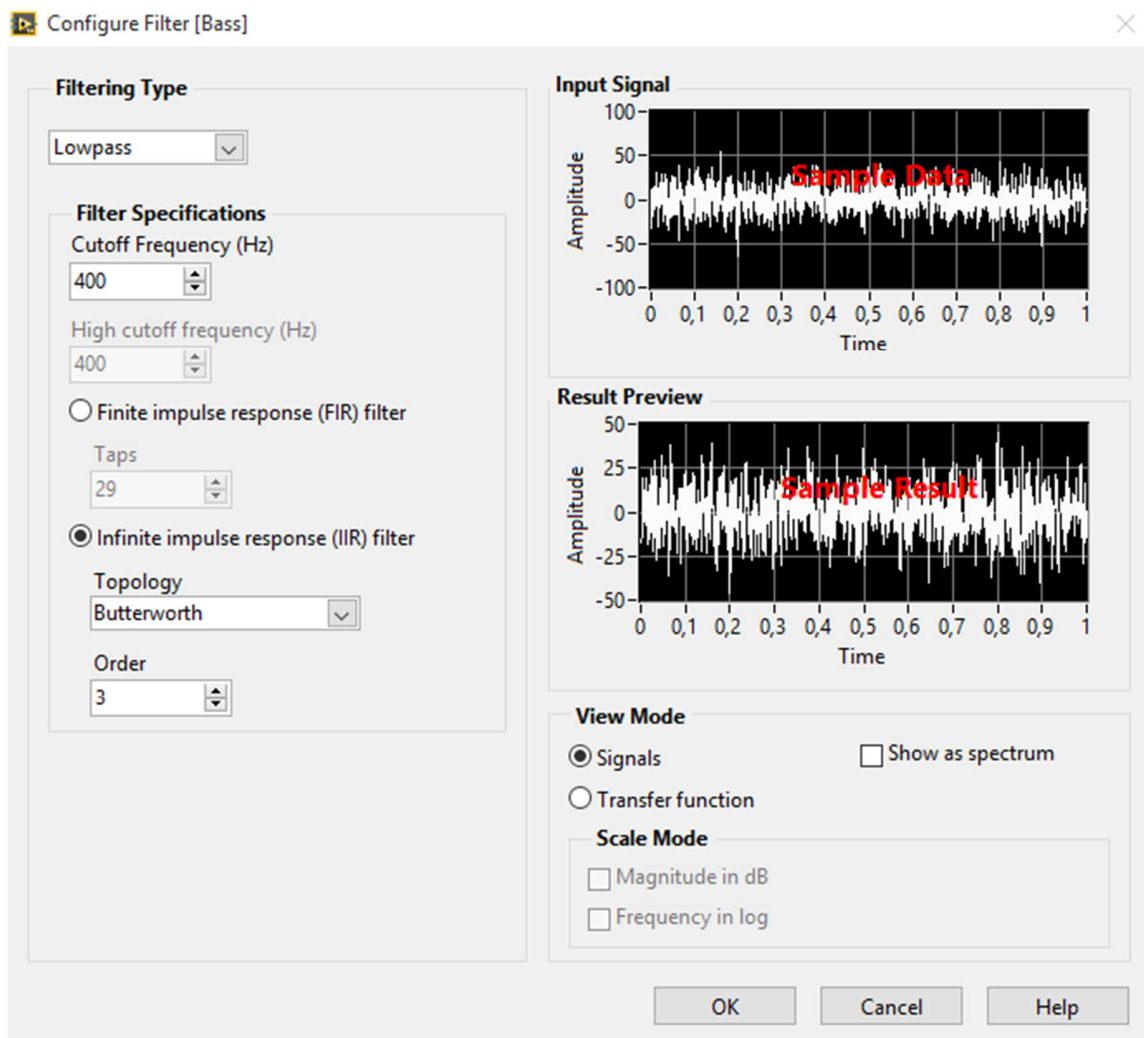
Όπως είναι εμφανές, στο Block Diagram γίνεται χρήση τριών διαφορετικών φίλτρων.



Εικόνα 3.13: Block Diagram φίλτρων μπάσου, ενδιάμεσου τόνου και τρέμουλου

Κάθε ένα φίλτρο έχει ξεχωριστά και τις δικές του ιδιότητες. Από το Block Diagram, στη παλέτα των Function επιλέγουμε «Express→Signal Analysis→Filter». Από τη στιγμή που επιλέξουμε το block «Filter» και το τοποθετήσουμε στη λευκή επιφάνεια, εμφανίζεται αυτομάτως ένα pop-up παράθυρο στο οποίο δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει μεταξύ διαφόρων φίλτρων και μεθόδων υλοποίησης αυτών.

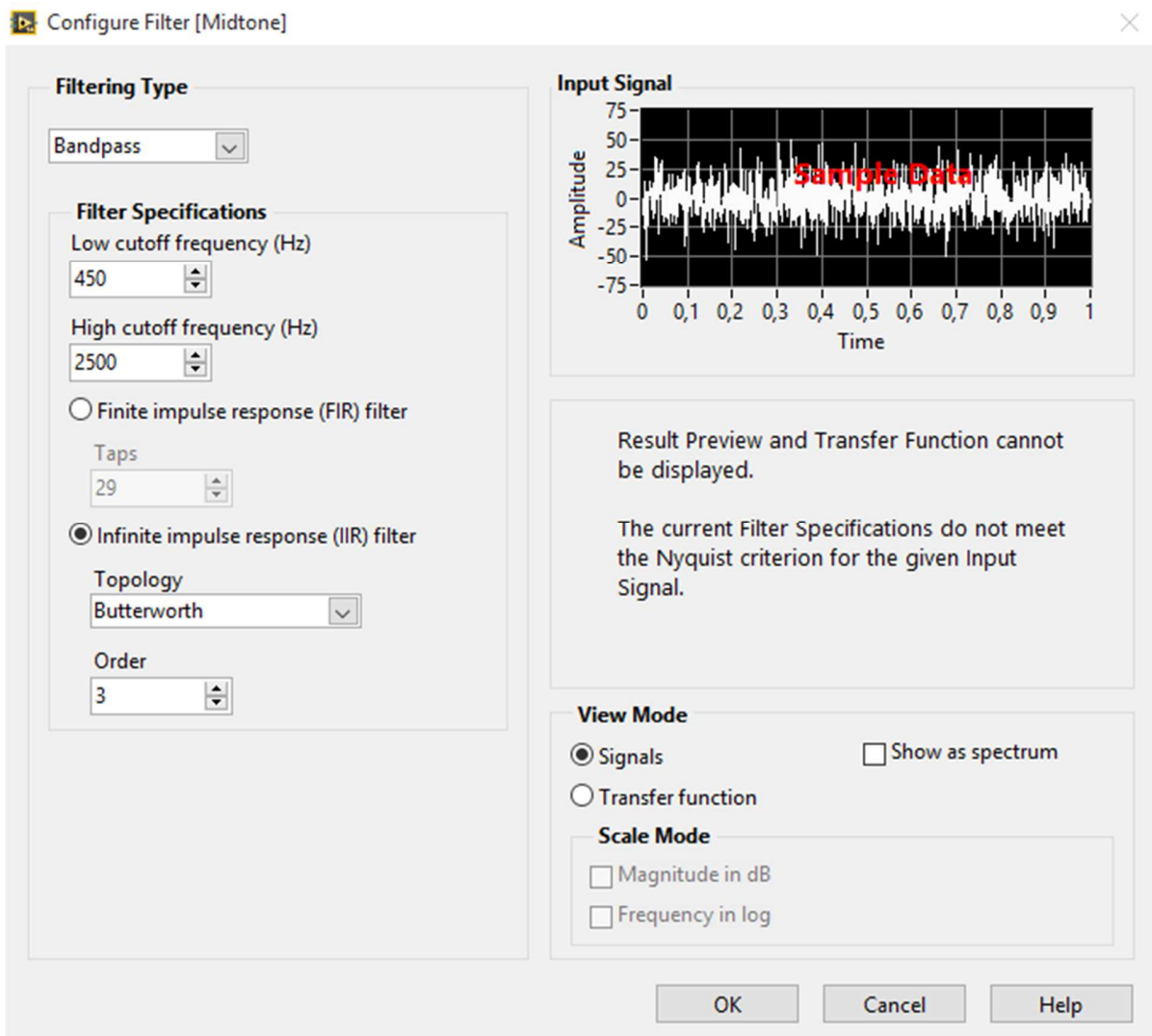
Στη περίπτωση μπάσου γίνεται χρήση ενός βαθυπερατού φίλτρου, κοινό ως «Lowpass Filter».



Εικόνα 3.14: Ιδιότητες φίλτρου – Μπάσο

Σε ένα βαθυπερατό φίλτρο, η είσοδος φιλτράρεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορέσει να περάσει στην έξοδο το κομμάτι του σήματος στο οποίο συμπεριλαμβάνονται μόνο οι χαμηλές συχνότητες. Είναι εμφανές πως θα πρέπει να δοθεί μια συχνότητα κατωφλίου ή οποία ουσιαστικά θα ορίζει τη συχνότητα από την οποία από εκεί και έπειτα θα γίνει η αποκοπή.

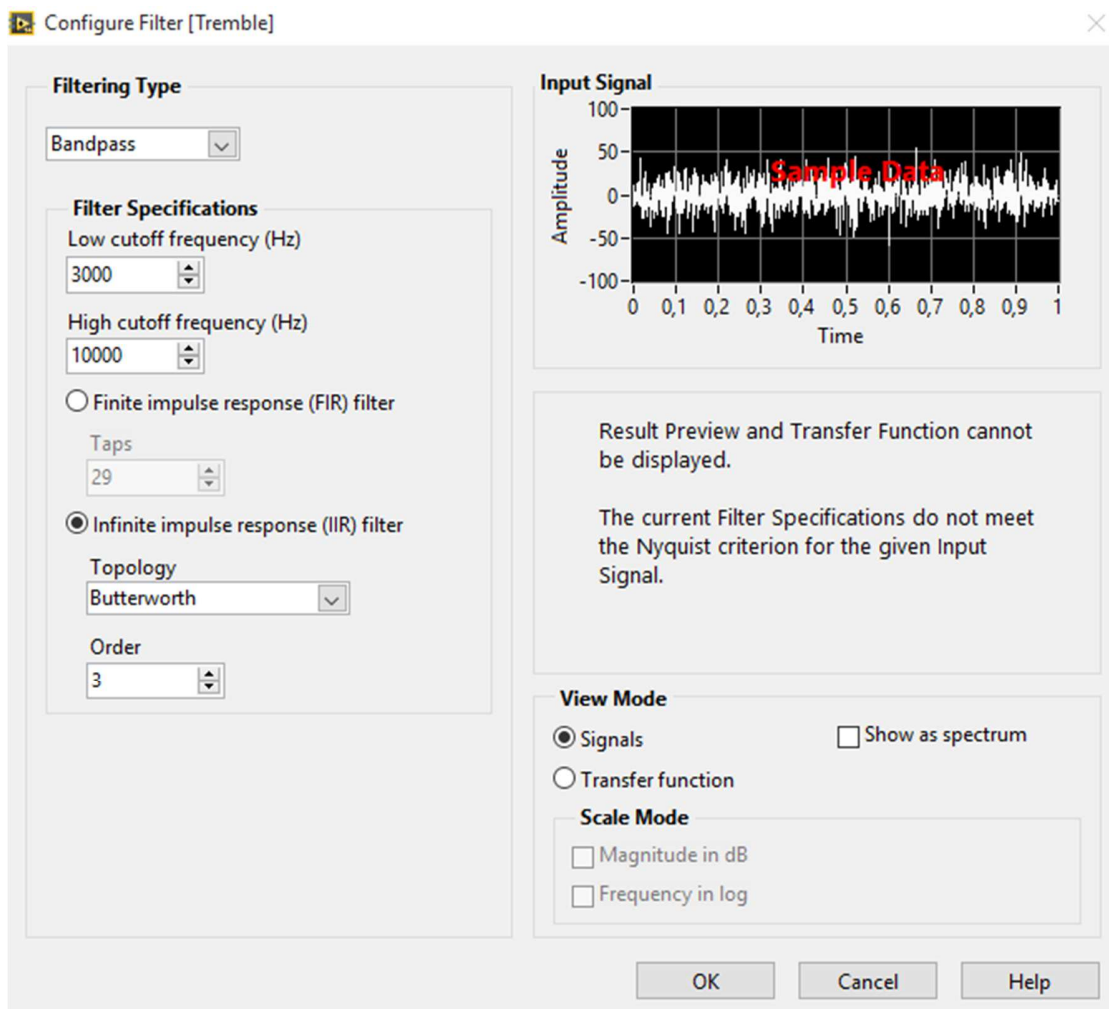
Στο LabVIEW, στο φίλτρο του μπάσου έχει δοθεί ως συχνότητα αποκοπής τα 400 Hz. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως οποιαδήποτε συχνότητα του σήματος εισόδου βρίσκεται από τα 400 Hz και πάνω δε θα συμπεριλαμβάνεται στην έξοδο.



Εικόνα 3.15: Ιδιότητες φίλτρου – Ενδιάμεσος τόνος

Στο φίλτρο ενδιαμέσου τόνου από την άλλη, γίνεται χρήση ενός ζωνοπερατού φίλτρου – «Bandpass Filter». Το ζωνοπερατό φίλτρο, σε αντίθεση με το βαθυπερατό, επιτρέπει τη διέλευση των συχνοτήτων που βρίσκονται μεταξύ μιας «Χ» χαμηλής συχνότητας αποκοπής και μιας «Υ» υψηλής συχνότητας αποκοπής. Με απλά λόγια, όποια συχνότητα στο σήμα εισόδου βρίσκεται κάτω από τη συχνότητα «Χ» και πάνω από τη συχνότητα «Υ» αποκόβονται και δε μεταφέρονται στο σήμα εξόδου.

Στο φίλτρο ενδιαμέσου τόνου χρησιμοποιείται ως χαμηλή συχνότητα αποκοπής τα 450 Hz και ως υψηλή συχνότητα αποκοπής τα 2500 Hz. Αυτό σημαίνει πως μόνο οι συχνότητες που βρίσκονται μεταξύ 450 και 2500 Hz θα μεταφερθούν στο σήμα εξόδου.



Εικόνα 3.16: Ιδιότητες φίλτρου – Τρέμουλο

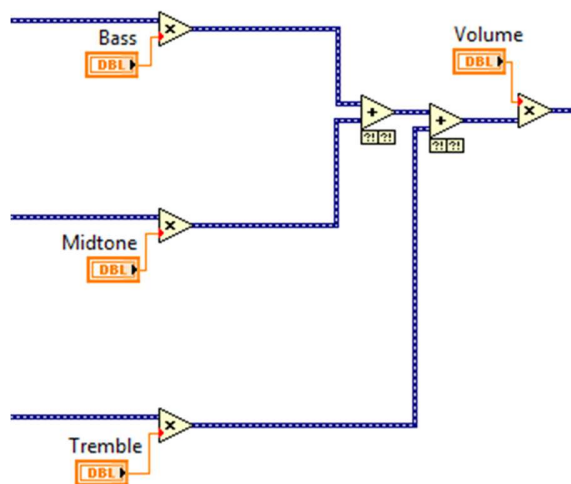
Τέλος, το φίλτρο του τρέμουλου χρησιμοποιεί και αυτό ένα ζωνοπερατό φίλτρο. Σε αυτό το φίλτρο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και ένα υψιπερατό φίλτρο – «Highpass Filter». Το υψιπερατό φίλτρο αφήνει να περάσουν όλες οι συχνότητες οι οποίες βρίσκονται πάνω από μία προκαθορισμένη συχνότητα κατωφλίου.

Ο λόγος που δεν έχει χρησιμοποιηθεί στην συγκεκριμένη περίπτωση αυτό το φίλτρο είναι διότι το ανθρώπινο αφτί δεν μπορεί να αντιληφθεί τον ήχο των συχνοτήτων που βρίσκονται πάνω από ένα συγκεκριμένο όριο. Συνεπώς γινόταν εφαρμογή αυτού του φίλτρου θα γινόταν χρήση περιττής πληροφορίας.

Όπως φαίνεται και παραπάνω, το φίλτρο του τρέμουλου μεταφέρει από το σήμα εισόδου στην έξοδο όσες συχνότητες βρίσκονται μεταξύ των 3000 – 10000 Hz.

Ο σχεδιασμός των παραπάνω φίλτρων έχει γίνει με τη χρήση ενός IIR φίλτρου (Infinite Impulse Response Filter) και σε τοπολογία Butterworth με τρίτης τάξεως μεταβλητές.

Αφότου γίνει η παραμετροποίηση των φίλτρων σειρά έχει η διασύνδεσή μεταξύ τους. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω αποκομμένο κομμάτι του Block Diagram, κάθε ένα από τα φίλτρα συνδέεται με ένα πολλαπλασιαστή.



Εικόνα 3.17: Πολλαπλασιαστές & Αθροιστές φίλτρων

Ο κάθε πολλαπλασιαστής πέρα από την είσοδο του φίλτρου συνδέεται και με έναν αντίστοιχο αυξομειωτή – slider. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι για να αποκτήσει ο

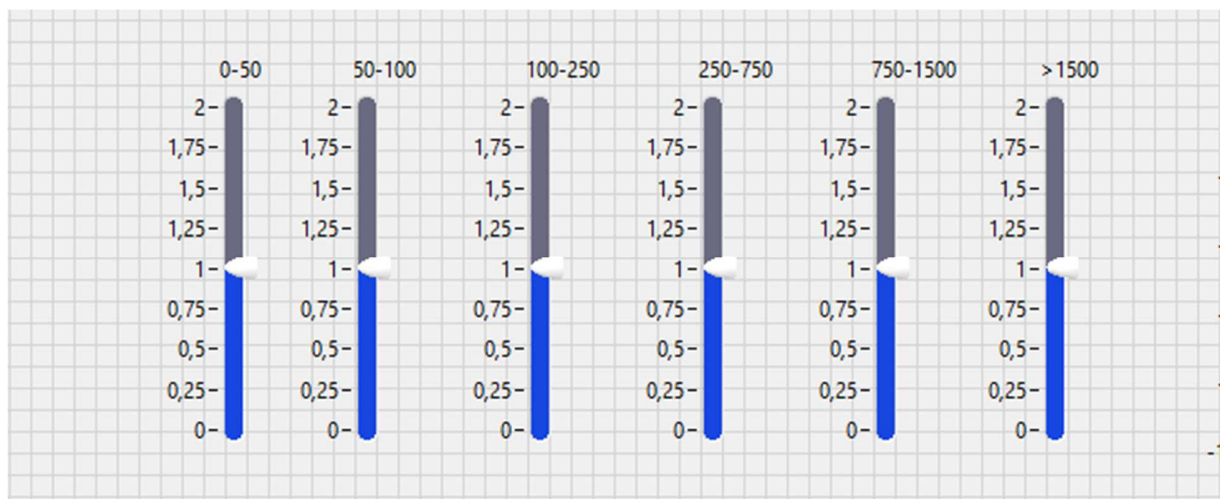
χρήστης τη δυνατότητα ενίσχυσης ή αποκοπής της δράσης που έχει το κάθε ένα φίλτρο ξεχωριστά στο ηχητικό κομμάτι.

Η έξοδος των παραπάνω τριών φίλτρων αθροίζεται συνολικά και έπειτα συνδέεται με ένα ακόμη πολλαπλασιαστή και έναν ακόμη αυξομειωτή. Το αποτέλεσμα της παραπάνω δράσης έχει να κάνει με την συνολική ένταση του παραγόμενου ήχου αλλά ταυτόχρονα και των αποτελεσμάτων των φίλτρων. Με άλλα λόγια το τελευταίο κομμάτι δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να αυξομειώσει τον ήχο.

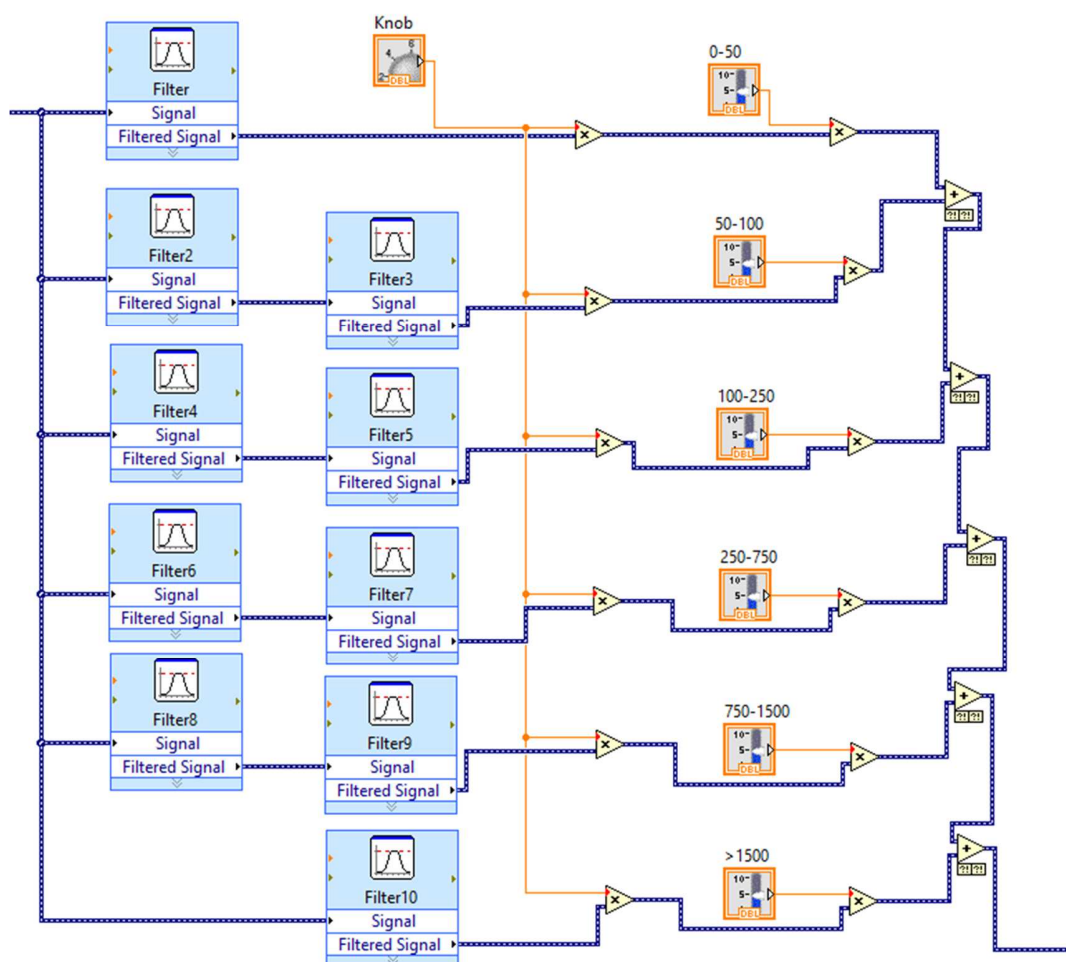
3.2.4. Διαίρεση Συχνοτήτων

Στην ενότητα 3.1.2. έγινε μια εισαγωγή στο θεωρητικό κομμάτι της τεχνικής αυτής. Πρακτικά, η διαίρεση συχνοτήτων γίνεται με τη χρήση συνδυαστικών βαθυπερατών και υπηπερατών φίλτρων όπου εκεί γίνεται ο διαχωρισμός των επιθυμητών συχνοτήτων.

Το φίλτρο διαχωρισμού συχνοτήτων που θα σχεδιάσουμε θα αποτελείται από 6 διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων όπου ο χρήστης θα μπορεί να επεμβαίνει ενισχύοντας την ένταση κατά τη διέλευση των συχνοτήτων στο τελικό σήμα, δηλαδή το ηχητικό κομμάτι.



Εικόνα 3.18: Front Panel Φίλτρου Διαίρεσης Συχνοτήτων



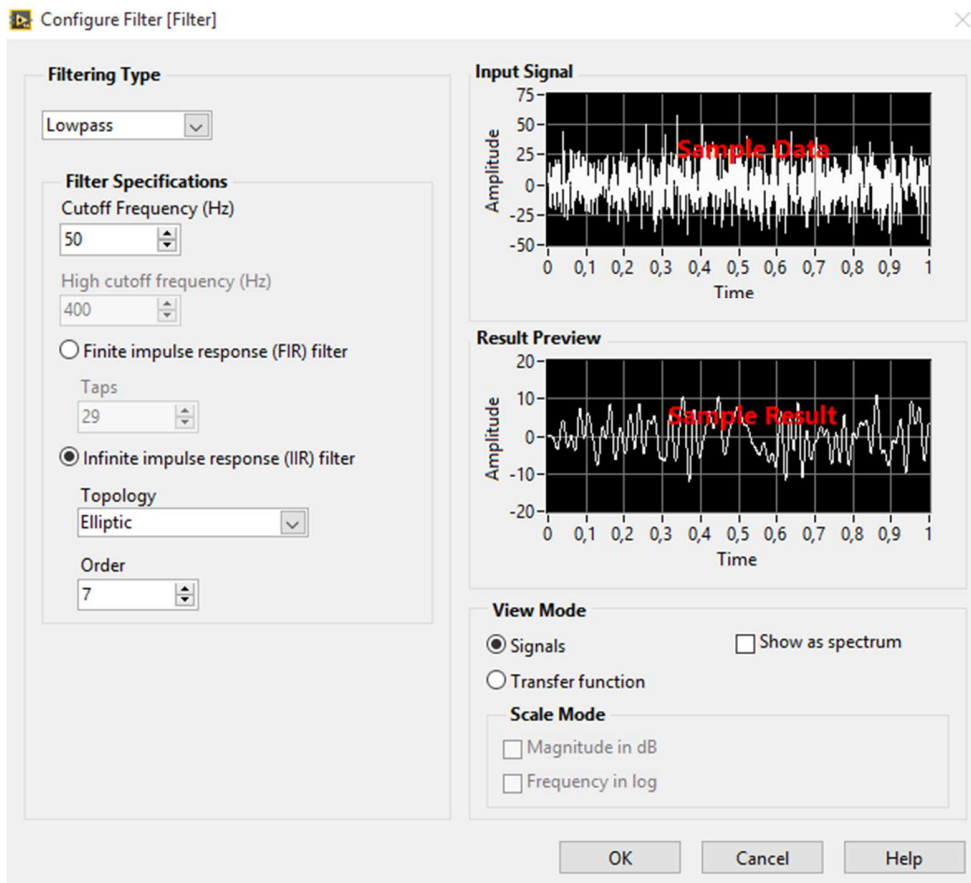
Εικόνα 3.19: Block Diagram Φίλτρου Διαίρεσης Συχνοτήτων

Ο διαχωρισμός θα γίνει μεταξύ των παρακάτω συχνοτήτων:

- 0-50 Hz
- 50-100 Hz
- 100-250 Hz
- 250-750 Hz
- 750-1500 Hz
- >1500 Hz

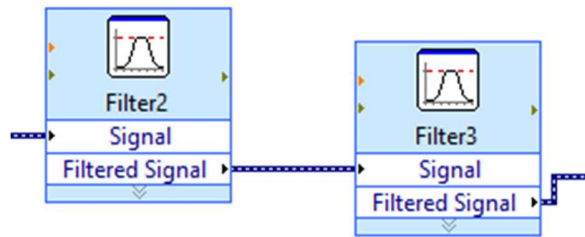
Ο σχεδιασμός των φίλτρων επιλέχθηκε να γίνει με τη χρήση IIR ελλειπτικού φίλτρου – Elliptic Filter και αυτό γιατί η μέθοδος αυτή δίνει πιο ακριβή αποτελέσματα από ένα κοινό Butterworth φίλτρο. Επίσης να σημειωθεί πως στη δημιουργία των ζωνοπερατών φίλτρων, χρησιμοποιούνται ξεχωριστά 2 φίλτρα σε σειρά (υψηπερατό και βαθυπερατό αντίστοιχα) ώστε η μετάβαση από τη συχνότητα αποκοπής να είναι όσο το δυνατόν πιο ομαλή, χωρίς να υπάρχουν απώλειες.

Στη πρώτη περίπτωση, αυτή του φίλτρου των 0-50 Hz ,γίνεται χρήση ενός και μόνο βαθυπερατού φίλτρου για να απομονώσουμε όλες τις συχνότητες κάτω των 50 Hz.



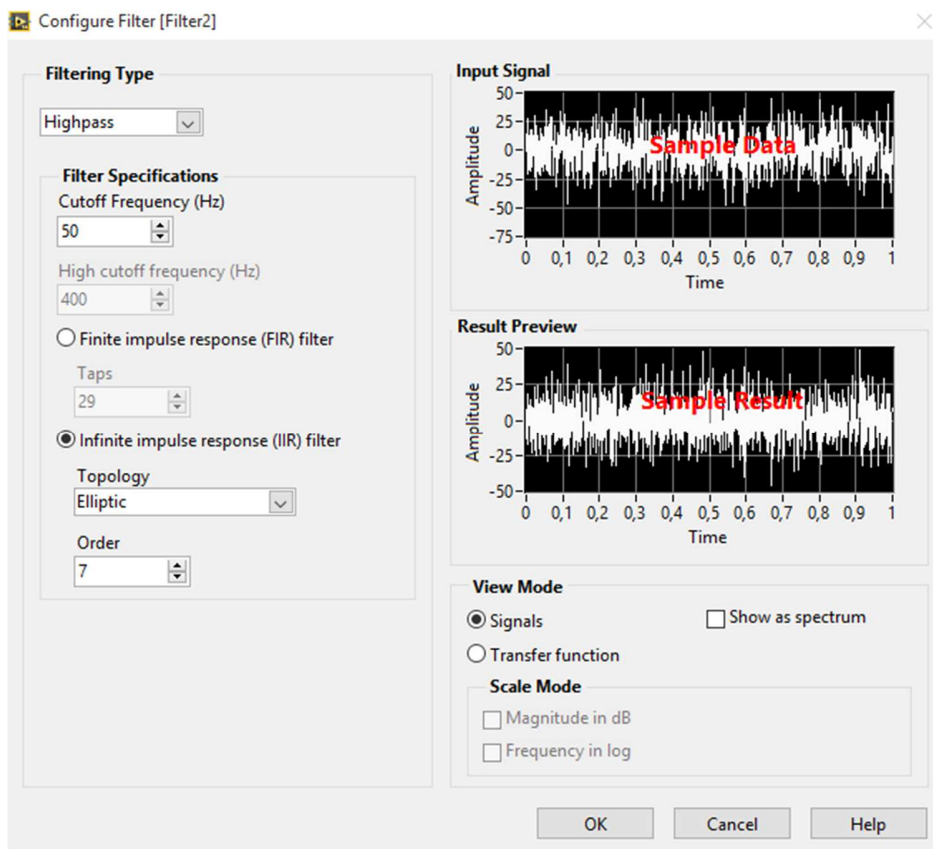
Εικόνα 3.20: Ιδιότητες φίλτρου 0-50 Hz

Όσον αφορά τις ζώνες μεταξύ των 50-100 Hz, 100-250 Hz, 250-750 Hz, 750-1500 Hz γίνεται χρήση 2 φίλτρων σε σειρά.

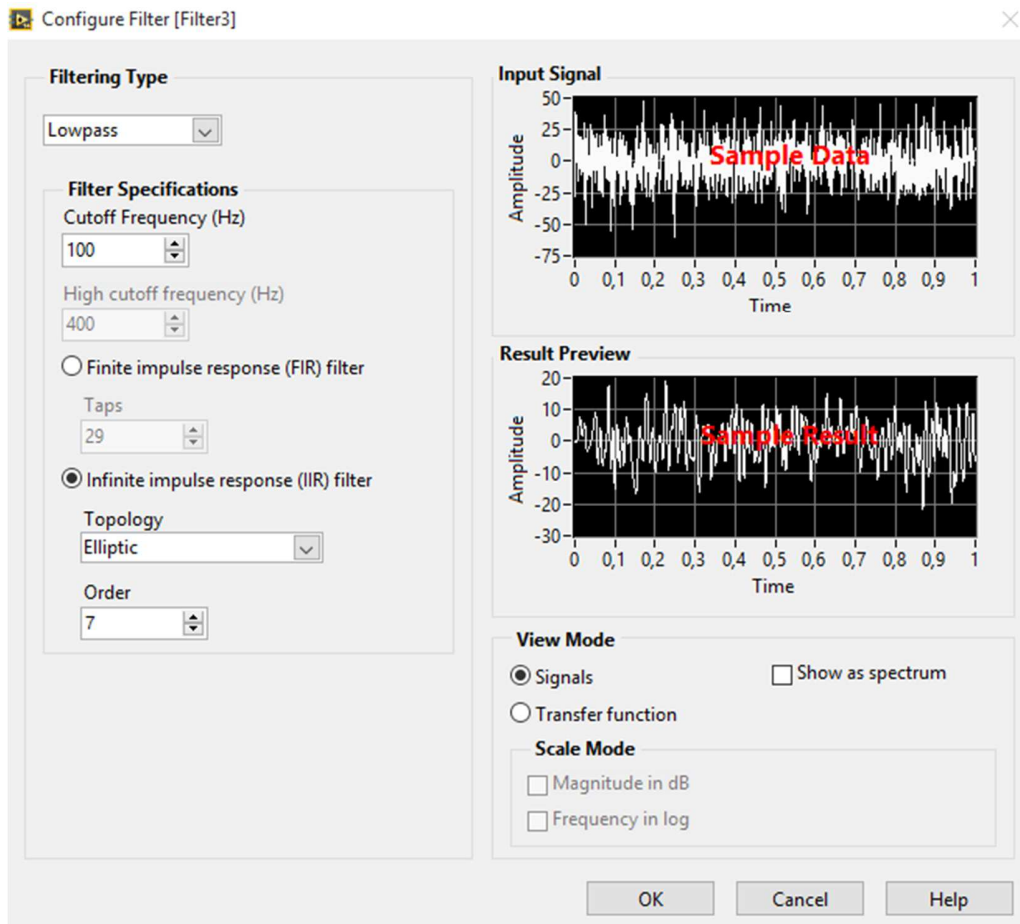


Εικόνα 3.21: Φίλτρα σε σειρά

Σε όλες τις παραπάνω ζώνες οι ιδιότητες των φίλτρων είναι αντίστοιχες. Πρώτα χρησιμοποιείται ένα υπεραυτό φίλτρο στο οποίο περνάνε όλες οι συχνότητες πάνω από τη συχνότητα αναφοράς που δίνεται και έπειτα ένα βαθυπερατό όπου περνάνε αντίστοιχα στο σήμα εξόδου οι συχνότητες που βρίσκονται χαμηλότερα από την εκάστοτε συχνότητα αποκοπής.



Εικόνα 3.22: Ιδιότητες φίλτρου 50-100 Hz (1)



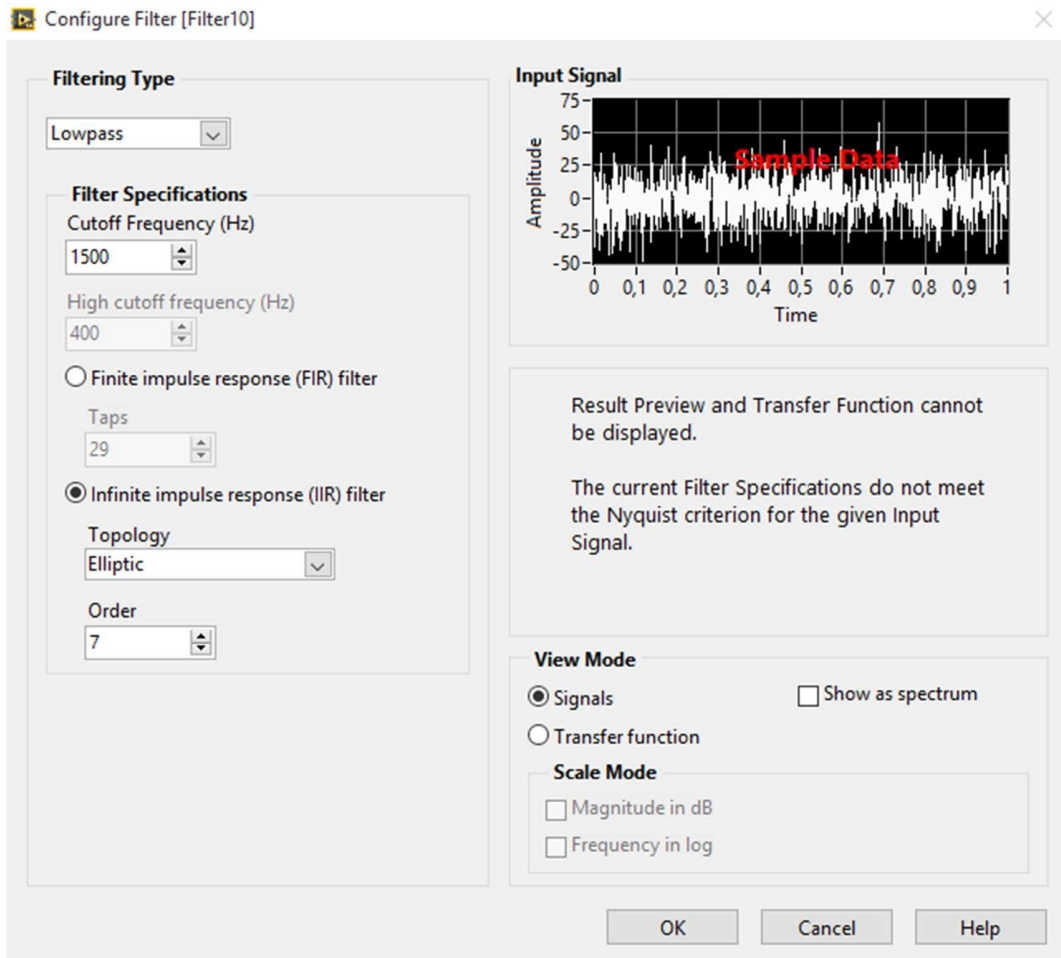
Εικόνα 3.23: Ιδιότητες φίλτρου 50-100 Hz (2)

Παραπάνω δίνεται η υλοποίηση της ζώνης 50-100 Hz. Πρώτα εισάγεται το σήμα αυτούσιο και περνάει από ένα υπερυπερατό φίλτρο με συχνότητα αποκοπής 50 Hz. Έπειτα το φιλτραρισμένο σήμα όπου περιέχει όλες τις συχνότητες πάνω από 50 Hz συνδέεται με ένα βαθυπερατό φίλτρο όπου συχνότητα αποκοπής του είναι τα 100 Hz. Έτσι καθίσταται δυνατή η επιλογή των συχνοτήτων μεταξύ 50 και 100 Hz.

Θα μπορούσε να γίνει χρήση και ενός μόνο φίλτρου όπως σημειώθηκε και προηγουμένως όπου θα επιλεγόταν η ιδιότητα «Bandpass» επιλέγοντας «low cutoff frequency» και «high cutoff frequency» 50 και 100 αντίστοιχα.

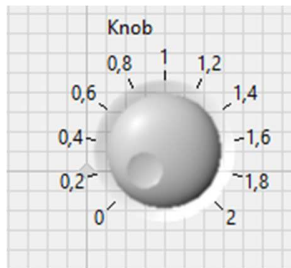
Η υλοποίηση που έχει γίνει όμως δίνει πιο ακριβή αποτελέσματα σε συνδυασμό με τη χρήση του ελλειπτικού φίλτρου που έχει επιλεγεί ως τρόπος υλοποίησης.

Τέλος στις συχνότητες οι οποίες είναι μεγαλύτερες των 1500 εφαρμόζεται υπερπαρατό φίλτρο όπως φαίνεται και παρακάτω.

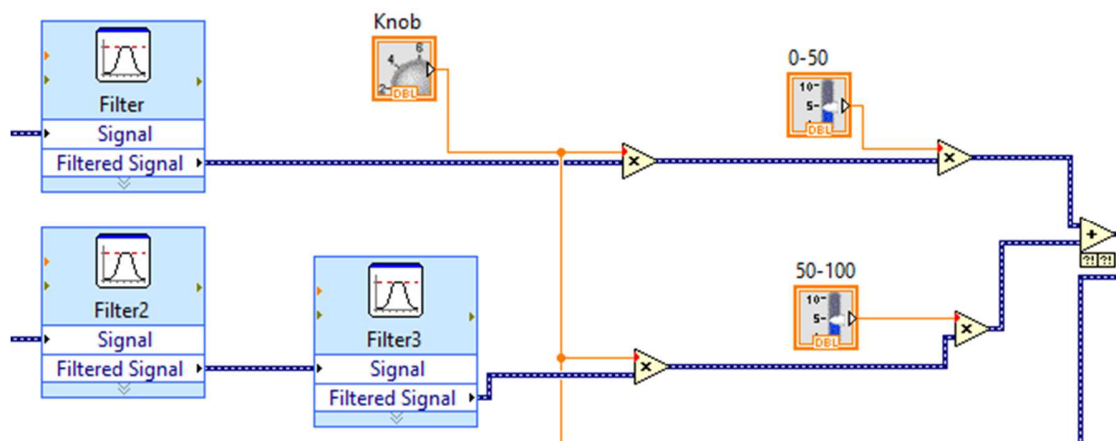


Εικόνα 3.24: Ιδιότητες φίλτρου >1500 Hz

Μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας των παραπάνω φίλτρων σειρά έχει η διασύνδεση τους με τα στοιχεία του Front Panel. Πέρα από τα «sliders» με τα οποία θα γίνεται ο χειρισμός των συχνοτήτων υπάρχει και ένας μοχλός – «knob» στο Front Panel με το οποίο δίνεται η δυνατότητα να αυξομειωθεί στο σύνολο της η ένταση του φίλτρου διαχωρισμού των συχνοτήτων.



Εικόνα 3.25: Μοχλός χειρισμού φίλτρου διαίρεσης συχνότητας

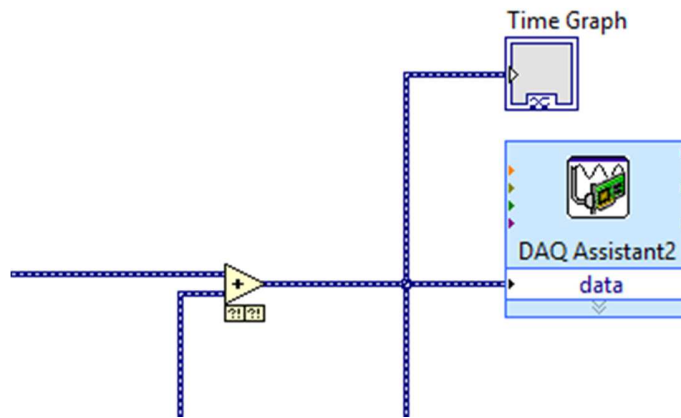


Εικόνα 3.26: Διασύνδεση φίλτρων

Όπως φαίνεται στο παραπάνω τμήμα του Block Diagram, όλες οι έξοδοι των φίλτρων συνδέονται με το προαναφερόμενο μοχλό μέσω ενός πολλαπλασιαστή. Αυτό σημαίνει πως οποιαδήποτε αυξομείωση γίνει στο κουμπί του μοχλού από το Front Panel επηρεάζει αυτόματα την ένταση όλων φίλτρων της διαίρεσης συχνότητας.

Εν συνεχεία, η κάθε έξοδος των παραπάνω περνάει από ακόμη έναν πολλαπλασιαστή. Σε αυτό το πολλαπλασιαστή οι εισοδοί είναι το παραγόμενο σήμα του κάθε φίλτρου και ο ανάλογος ρυθμιστής του. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα να χειριστεί κανείς ποιες συχνότητες θα ενισχυθούν στο παραγόμενο ηχητικό σήμα.

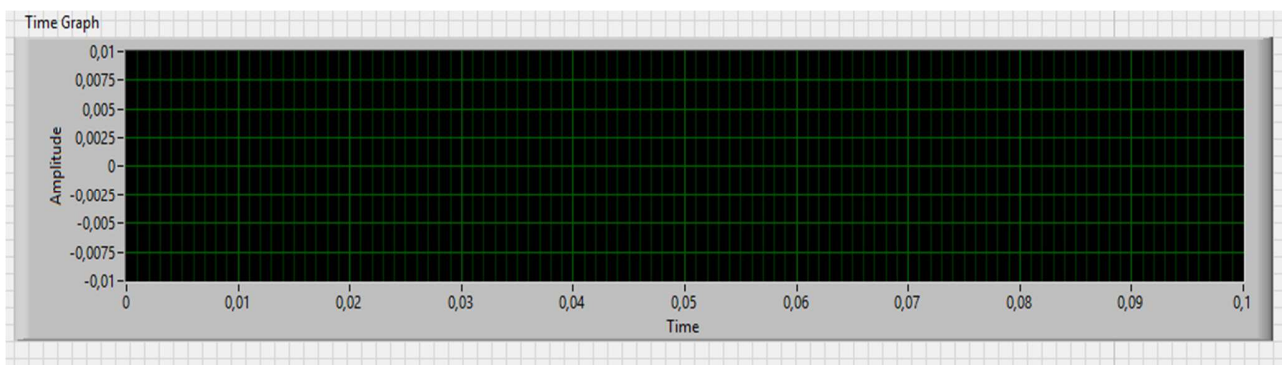
Τέλος, οι έξοδοι όλων των παραπάνω περνάνε από αθροιστές ώστε το σήμα να γίνει θεωρητικά «ένα».



Εικόνα 3.27: Έξοδος φίλτρου διαίρεσης συχνότητας

Η έξοδος του φίλτρου διαίρεσης συχνότητας περνάει από έναν τελευταίο αθροιστή στον οποίο εισέρχεται και η έξοδος των φίλτρων μπάσου, τρέμουλου και ενδιάμεσου τόνου όπου αναπτύχθηκε στην ενότητα 3.2.3.

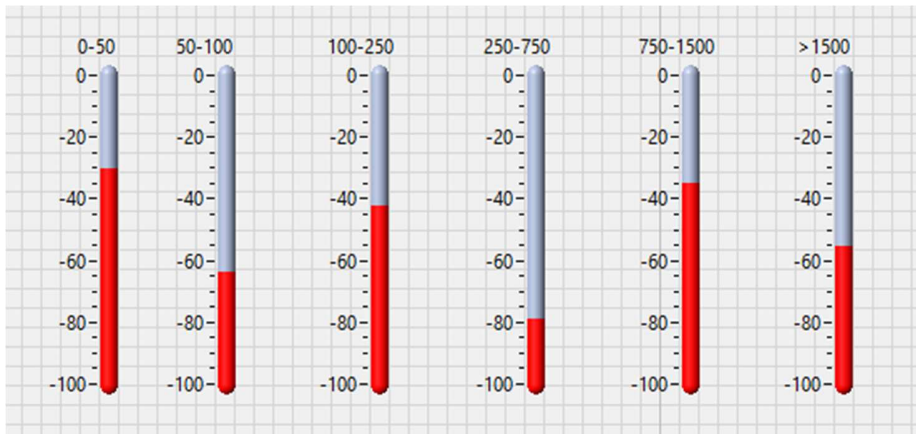
Το παραπάνω σήμα συνδέεται με το DAQ Assistant εξόδου όπου οι ιδιότητες του και ο τρόπος δημιουργίας του περιγράφεται στην ενότητα 3.2.1. Στη έξοδο έχει συνδεθεί και ένα «Time Graph» το οποίο απεικονίζει σε πραγματικό χρόνο την τάση του σήματος σε συνάρτηση με το χρόνο.



Εικόνα 3.28: Front Panel Time Graph

3.2.5. Εφέ Έντασης

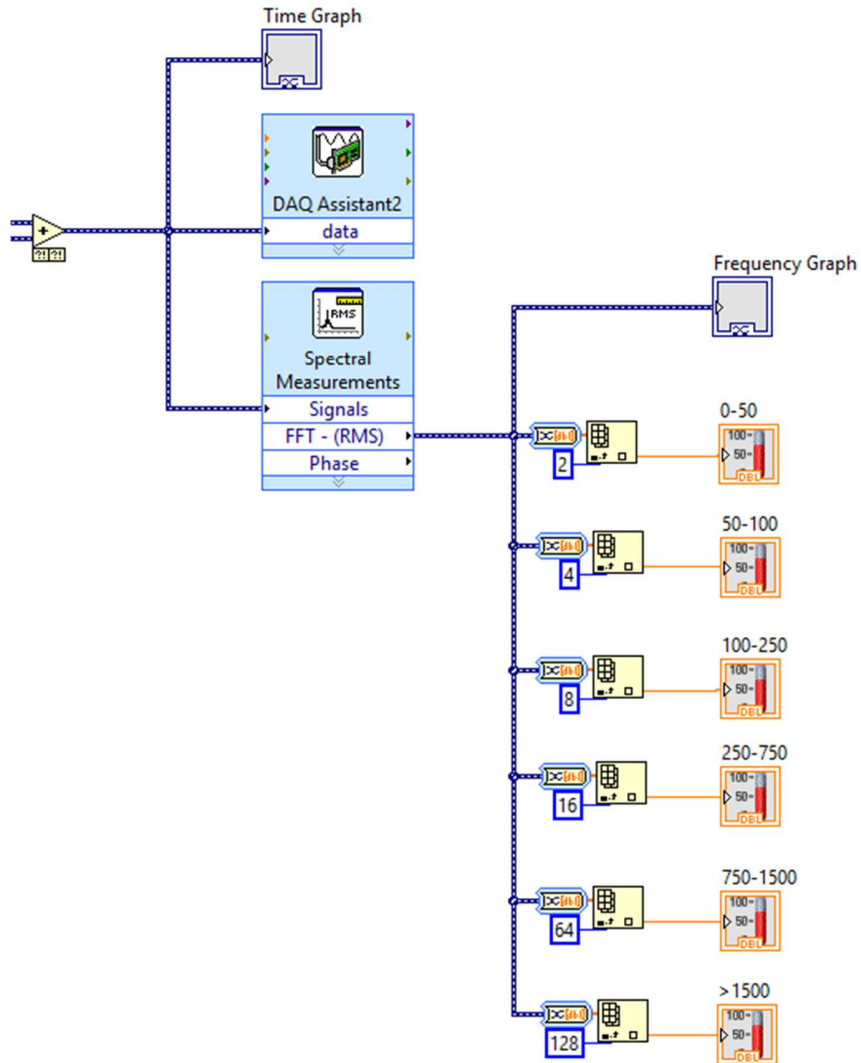
Από τη στιγμή που έχει παραχθεί το τελικό σήμα και έχει συνδεθεί με τον DAQ Assistant της εξόδου ακολουθείται μια διαδικασία για την εμφάνιση εφέ έντασης στο Front panel της εφαρμογής ώστε να φαίνεται πιο ζωντανό το αποτέλεσμα. Στο Front Panel έχουν δημιουργηθεί 6 δείκτες – «indicators».



Εικόνα 3.29: Front Panel δεικτών έντασης

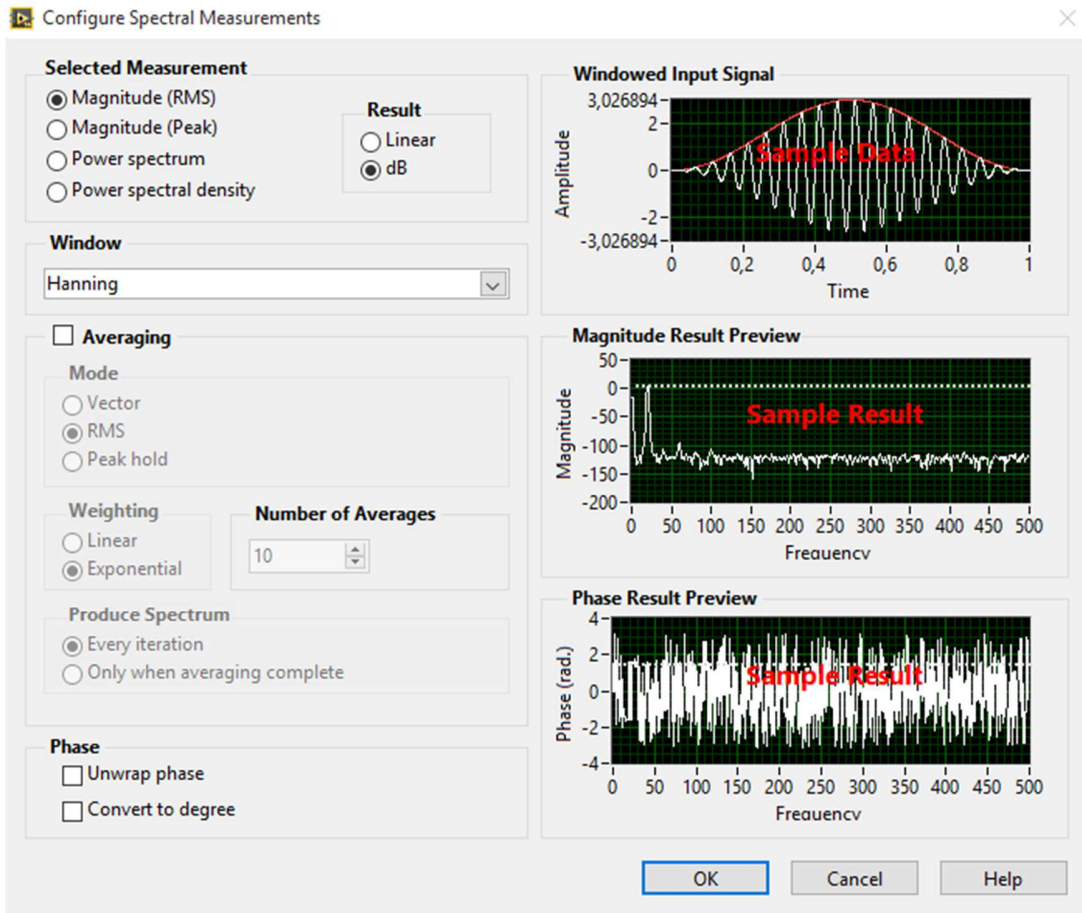
Η κλίμακα των τιμών στους δείκτες κυμαίνεται από -100 έως 0. Αυτό συμβαίνει διότι τα αποτελέσματα τα οποία απεικονίζονται είναι λογαριθμικά όπως παρουσιάζεται και παρακάτω.

Αρχικά εφαρμόζουμε μετασχηματισμό Fourier στο σήμα εξόδου και έπειτα επιλέγουμε συγκεκριμένες θέσεις του μετασχηματισμένου σήματος για απεικόνιση στους δείκτες.



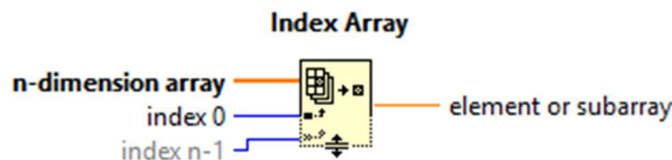
Εικόνα 3.30: Block Diagram δεικτών συχνοτήτων

Από το Block Diagram εισάγουμε το block Spectral Measurements το οποίο βρίσκεται στα Functions, Programming→Waveform→Analog Wfm→Measurements→Spectral. Αμέσως μετά την εισαγωγή θα εμφανιστεί ένα παράθυρο στο οποίο πρέπει να επιλεγθούν ορισμένοι παράμετροι.



Εικόνα 3.31: Παράμετροι Spectral Measurement

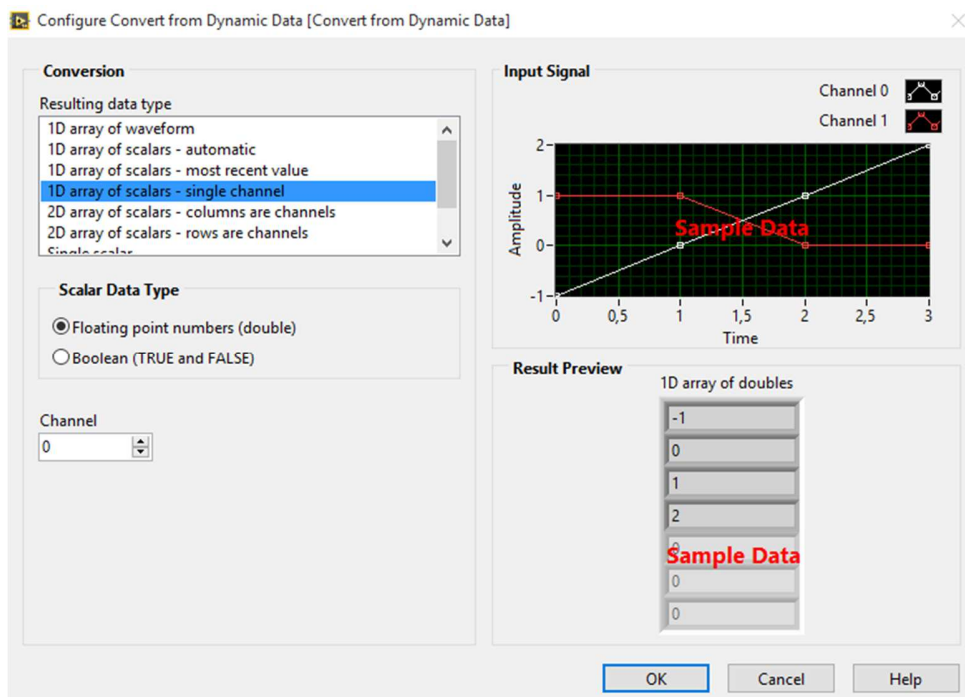
Αφού οριστούν οι παραπάνω παράμετροι, συνδέουμε την έξοδο του Spectral Measurements με 6 «Index array» τα οποία βρίσκονται στα «Function» από το Block Diagram στη θέση «Programming→Array→Index Array».



Εικόνα 3.32: Συνδεσμολογία του Index Array

Το συγκεκριμένο block δέχεται ένα πίνακα δεδομένων στην είσοδο «array» και επιστρέφει στην έξοδο του το στοιχείο της θέσης που του ορίζουμε στη δεύτερη είσοδο «index».

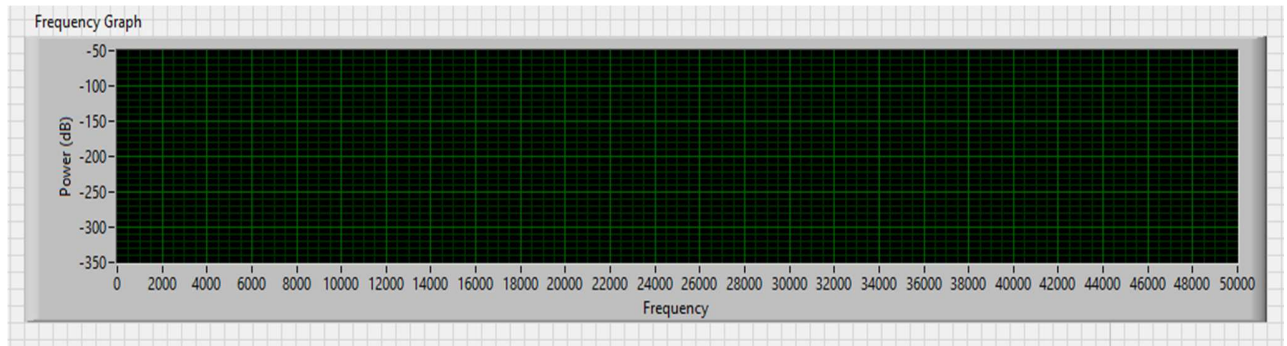
Για να μπορεί να γίνει εφικτή όμως η μετατροπή του σήματος εξόδου σε πίνακα δεδομένων είναι αναγκαία η σύνδεση του μετατροπέα «Convert from Dynamic Data» πριν περάσει από το «Index Array». Το Block αυτό βρίσκεται στα «Functions» στη θέση «Express→Signal Manipulation→From DDT».



Εικόνα 3.33: Ιδιότητες του Block Convert from Dynamic Data

Στη είσοδο «index» του «Index Array» επιλέχθηκε η αλληλουχία 2^n διαδοχικά όπου n ο αύξον αριθμός των «Index Array» block.

Τέλος, το μετασχηματισμένο σήμα συνδέεται με ένα Frequency Graph.



Εικόνα 3.34: Front Panel - Frequency Graph

4. Βιβλιογραφία

- [1] Γεώργιος Β. Μουστακίδης, «Βασικές Τεχνικές Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων», 2003
- [2] Γιώργος Κ. Φούσκας, «Ψηφιακές Επικοινωνίες», Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2001
- [3] Αντώνιος Γαστεράτος – Σπυρίδων Μουρούτσος, Ιωάννης Ανδρεάδης, Τεχνική των μετρήσεων, 2006
- [4] Πάνος Φωτόπουλος – Αναστασία Βελώνη, «Σήματα & Συστήματα για Τεχνολόγους», Σύγχρονη Εκδοτική, 2008
- [5] Χρυσάνθου Μαρία, «Διαδικασία Ψηφιοποίησης Ηχητικών Αρχείων και Τεχνολογίες», Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Αρχιτεκτονικής και Βιβλιοθηκονομίας, Ιόνιο Πανεπιστήμιο, 2006
- [6] Φλώρος Ανδρέας, «Διαχείριση και Δημιουργία Βασικών Σημάτων, Δειγματοληψία και Κβαντισμός», Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας, Ιόνιο Πανεπιστήμιο, 2013
- [7] «Εργαστηριακές σημειώσεις συστημάτων συλλογής και επεξεργασίας μετρήσεων – δεδομένων», Τμήμα Ηλεκτρονικής, ΤΕΙ Πάτρας, 2008
- [8] Lina j. Karam – Naji Mounsef, “EEE 101 Speedy-33 Experiments”, Arizona State University
- [9] E. M. Schwartz, “Introduction to the NI myDAQ”, Department of Electrical & Computer Engineering, University of Florida, 2011
- [10] National Instruments, “User Guide and Specifications – NI myDAQ”, National Instruments Corporation, 2011
- [11] Keithley, “Data Acquisition and Control Handbook”, Keithley Instruments, 2001

- [12] https://el.wikipedia.org/wiki/Επεξεργασία_σήματος
- [13] <https://el.wikipedia.org/wiki/Ήχος>
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/Data_acquisition
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/Hearing_range
- [16] https://en.wikipedia.org/wiki/Audio_file_format
- [17] http://www.cslab.ece.ntua.gr/~ekall/Science/personal_docs/ixos.htm
- [18] <https://www.freestockmusic.com/audio-formats>
- [19] <http://automatismoi.freeservers.com/FILTRA/filtra.htm>