

**ΑΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ**  
**«ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΕΡΓΟΥ DI»**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΒΕΝΙΕΡΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ**



**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ : ΤΟΜΖΑΣ ΠΑΥΛΟΣ**

**ΑΜ : 208**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 2/8/2011**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 1.1 Τι είναι το DI
- 1.2 Τι κάνει το DI
- 1.3 Τύποι DI

### 2. ΤΟ ΕΝΕΡΓΟ DI (ACTIVE DI)

- 2.1 Αρχή λειτουργίας του ενεργού DI
- 2.2 Τα μέρη ενός ενεργού DI
- 2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά ενός ενεργού DI
- 2.4 Τυπικές συνδεσμολογίες ενός ενεργού DI

### 3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΟΥ DI

- 3.1 Ηλεκτρικό κύκλωμα και υλικά του ενεργού DI
- 3.2 Συνοπτική παρουσίαση του κυκλώματος
- 3.3 Διαδικασία κατασκευής του ενεργού DI
- 3.4 Δοκιμή του ενεργού DI

### 4. ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – WEBGRAPHY

### 6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

- TL O72 Datasheet
- Direct Injection Box for Recording & PA Systems, Rod Elliott (ESP)

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το DI είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται ευρέως στην ηχοληψία και μοιάζει εξωτερικά με ένα μικρό κουτί. Είναι μια ηλεκτρονική διάταξη που κύρια δουλειά της είναι να μετατρέπει τα unbalanced σε balanced σήματα, εξαλείφοντας τον ανεπιθύμητο θόρυβο που δημιουργείται κατά τη διαδρομή ενός σήματος. Υπάρχουν δύο τύποι DI : α) τα ενεργά και β) τα παθητικά.

Μέσα από την κατασκευή ενός ενεργού DI σκοπεύω να κάνω μια αναλυτική και λεπτομερή περιγραφή της συσκευής, του τρόπου λειτουργίας της, της χρήσης της και της αποτελεσματικότητάς της. Τέλος σκοπεύω να αξιολογήσω την κατασκευή μου ως προς το κόστος της, την ποιότητά της, τη χρηστικότητά της, και να τη συγκρίνω με άλλα έτοιμα ενεργά DI του εμπορίου.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Τι είναι το DI

Το **DI (Direct Input ή Direct Injection)** ή **DI box** είναι ένα μικρό κουτί με μία ή περισσότερες εισόδους ηχητικών σημάτων (συνήθως 1/4" jack) και μία ή περισσότερες εξόδους ηχητικών σημάτων (πάντα μία balanced – συμμετρική έξοδος τύπου XLR και πιθανόν κάποιες εξόδους thru 1/4" jack). Παρακάτω φαίνονται εικόνες από διάφορα DI (σχ. 1.1).



Σχ. 1.1 Εικόνες από διάφορα DI

## 1.2 Τι κάνει το DI

Το DI εκτελεί τις εξής λειτουργίες :

α) Ταίριασμα των αντιστάσεων εισόδου - εξόδου (impedance matching).

Όταν λέμε ταίριασμα εννοούμε ότι η αντίσταση εισόδου (πχ ενός προενισχυτή μικροφώνου) πρέπει να είναι υψηλότερη από την αντίσταση εξόδου (πχ κιθάρα, μικρόφωνο κλπ) που ενώνεται με αυτήν. Οι κιθάρες, τα μπάσα κλπ επειδή χρησιμοποιούν μαγνήτες που στην ουσία είναι πηνία, έχουν πολύ μεγάλη αντίσταση εξόδου. Οι προενισχυτές μικροφώνου μιας κονσόλας έχουν αντίσταση εισόδου από περίπου 1.5 KΩ μέχρι περίπου 3 KΩ. Θα έπρεπε η αντίσταση εισόδου να ήταν της τάξεως των 2 MΩ για να μπορούσαμε να ενώσουμε στη κονσόλα μας απευθείας μια κιθάρα χωρίς να υπάρχουν αλλοιώσεις στον ήχο. Το DI κάνει αυτό το impedance matching. Έχει μια είσοδο υψηλής αντίστασης που την ονομάζει συνήθως instrument input και είναι υψηλότερης αντίστασης από μια κιθάρα ή μπάσο όπως επίσης και μια έξοδο χαμηλότερης αντίστασης για να μπορεί να ενωθεί με μια κανονική είσοδο μικροφώνου μιας κονσόλας.

β) Μετατροπή του unbalanced (μη ισοσταθμισμένου) σήματος σε balanced (ισοσταθμισμένο) σήμα.

Τα unbalanced (μη ισοσταθμισμένα) σήματα (πχ από κιθάρες, μπάσα, synths κτλ) είναι επιρρεπή σε θόρυβο και παρεμβολές, ιδίως όταν μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις με μακριά καλώδια. Το DI μετατρέπει ένα unbalanced (μη ισοσταθμισμένο) σήμα υψηλής αντίστασης σε ένα balanced (ισοσταθμισμένο) σήμα χαμηλής αντίστασης. Αυτό γίνεται βγάζοντας στην XLR έξοδο του 2 σήματα με

διαφορά φάσης  $180^\circ$ . Αυτά μπαίνοντας στο διαφορικό ενισχυτή μιας κονσόλας διπλασιάζουν το αρχικό σήμα και εξαλείφουν τυχόν παρεμβολές. Έτσι υπάρχει δυνατότητα μεταφοράς του σε μεγαλύτερες αποστάσεις (μεγαλύτερο μήκος καλωδίου μεταξύ DI και κονσόλας) χωρίς να επηρεάζεται από θόρυβο και παρεμβολές (RF, crosstalk κ.α.).

γ) Απομόνωση του σήματος εισόδου από το σήμα εξόδου και δυνατότητα διακοπής της γείωσης (ground lift).

Το DI απομονώνει ηλεκτρικά την είσοδό του (instrument input) από την έξοδο του (balanced output) παρέχοντας μια μορφή προστασίας από ηλεκτρικό σοκ. Επίσης απομονώνει τη γείωση μεταξύ των διαφόρων συσκευών (ground lift) για την αποφυγή βόμβων (hum) εξαιτίας πολλαπλών βρόγχων γείωσης (ground loops) που μπορούν να δημιουργηθούν σε κλειστά κυκλώματα αγωγών γείωσης.

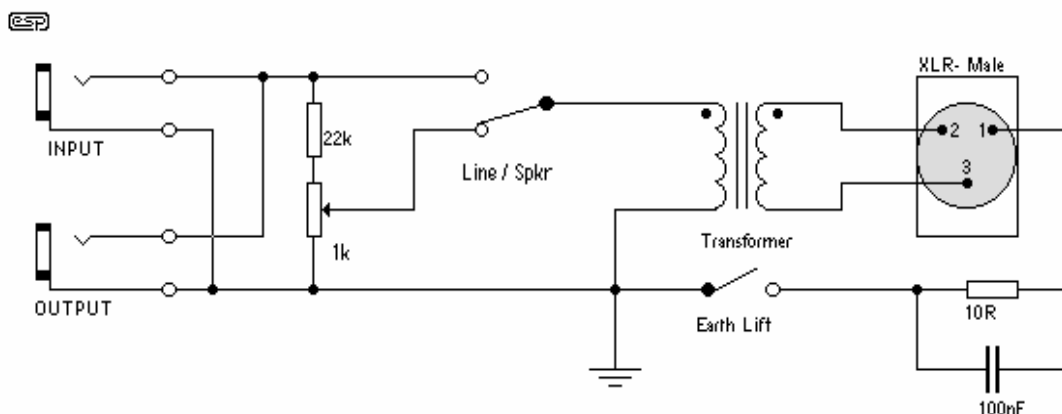
δ) Ρύθμιση της στάθμης του σήματος.

Το DI μπορεί να ρυθμίσει αρχικά τη στάθμη ενός σήματος συνήθως μέσω κουμπιών με βήματα  $\pm 20$  dB ή και με ποτενσιόμετρο. Έτσι καταφέρνουμε να έχουμε την βέλτιστη στάθμη σήματος ανάλογα με το είδος του (δυνατό ή χαμηλό) πριν αυτό μπει στην κονσόλα.

### 1.3 Τύποι DI

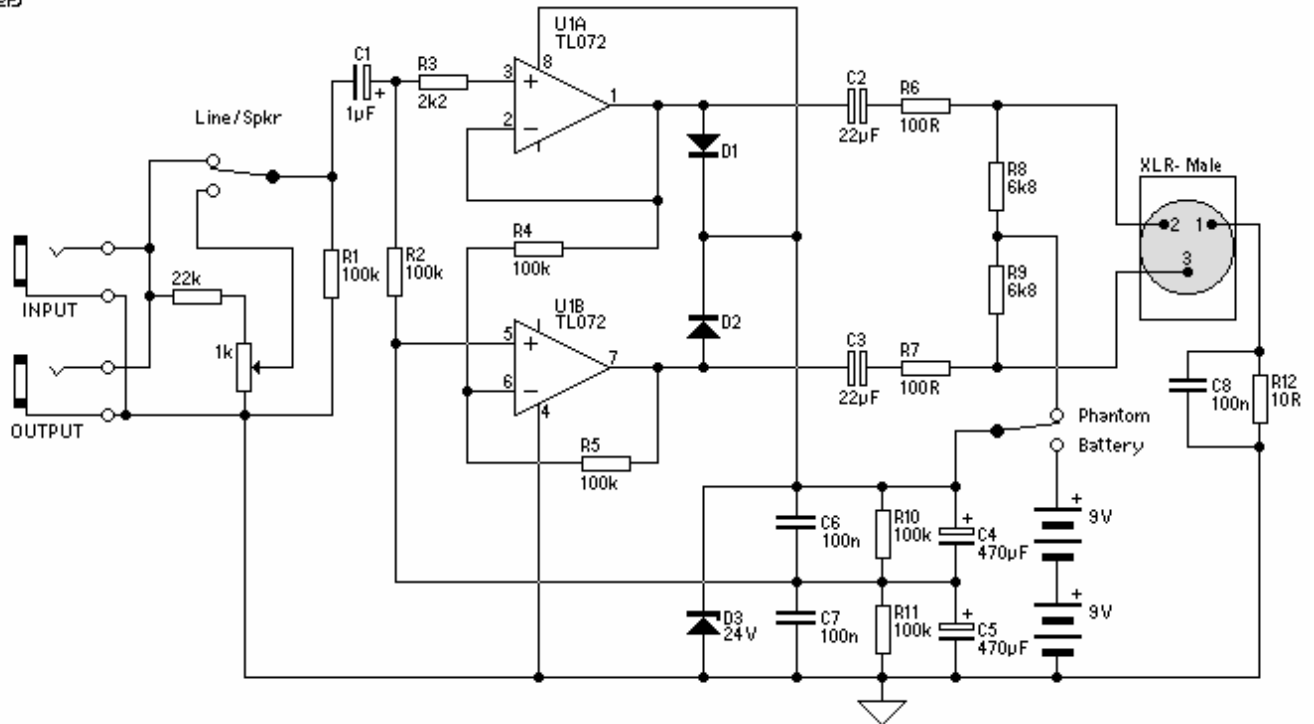
Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι DI : α) το παθητικό (passive DI) και β) το ενεργό (active DI).

**Το παθητικό (passive DI)** χρησιμοποιεί μετασχηματιστή (transformer) για να μετατρέψει και να απομονώσει το σήμα εξόδου από το σήμα εισόδου. Έτσι η απόδοσή του εξαρτάται από την ποιότητα του μετασχηματιστή. Δίνει τη δυνατότητα πλήρους ηλεκτρικής απομόνωσης της εισόδου του (Instrument input) από την έξοδο (Balanced output) γιατί το πρωτεύον πηνίο ενός μετασχηματιστή δεν είναι ενωμένο με το δευτερεύον και το σήμα μεταφέρεται επαγωγικά. Το σήμα εξόδου έχει μια πτώση της τάξεως των 3 με 6 dB γιατί χρησιμοποιείται stepdown μετασχηματιστής. Είναι συνήθως φθινό και δεν χρειάζεται τροφοδοσία για να λειτουργήσει. Όμως η αντίσταση ενός μετασχηματιστή αυξάνεται παράλληλα με την αύξηση της συχνότητας με αποτέλεσμα να εμφανίζεται μερική απώλεια σήματος στις υψηλές συχνότητες. Παρακάτω φαίνεται το σχέδιο από ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ενός παθητικού DI (σχ. 1.2).



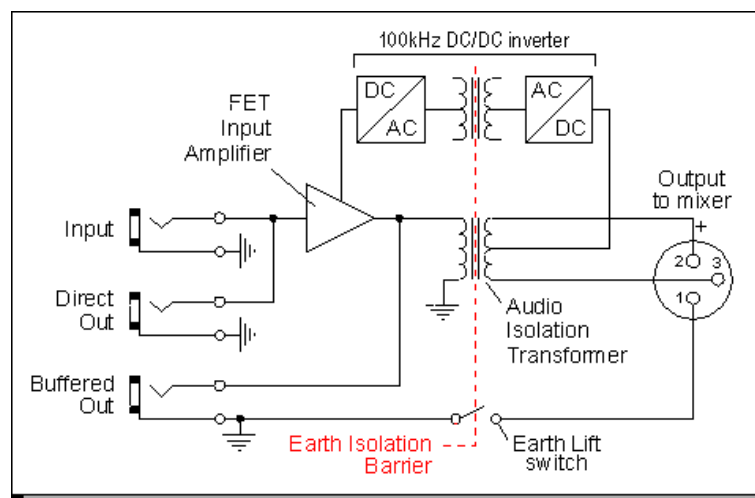
Σχ. 1.2 Κύκλωμα παθητικού DI

Το ενεργό DI (active DI) χρησιμοποιεί ηλεκτρικό κύκλωμα με τελεστικούς ενισχυτές για να μετατρέψει και να απομονώσει το σήμα εξόδου από το σήμα εισόδου. Θα αναφερθώ αναλυτικά στο ενεργό DI στο επόμενο κεφάλαιο. Παρακάτω φαίνεται το σχέδιο από ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ενός ενεργού DI (σχ. 1.3).



Σχ. 1.3 Κύκλωμα ενεργού DI

Τέλος υπάρχει και ένας συνδυασμός active DI με μετασχηματιστή στην έξοδο καθώς και DI που ενσωματώνουν διάφορα φίλτρα που προσομοιώνουν το χρωματισμό που θα έκανε ένα μεγάφωνο μιας καμπίνας από ενισχυτή κιθάρας / μπάσου. Παρακάτω φαίνεται το σχέδιο από ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ενός ενεργού DI με μετασχηματιστή στην έξοδο (σχ. 1.4).



Σχ. 1.4 Κύκλωμα ενεργού DI με μετασχηματιστή στην έξοδο

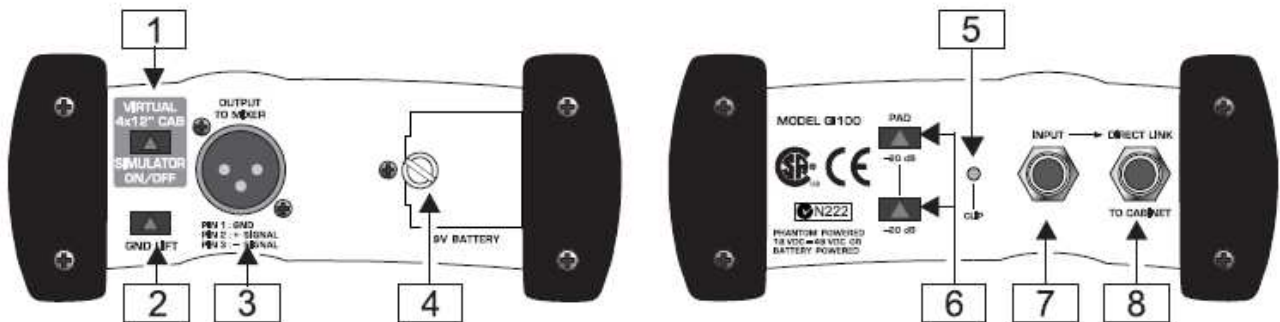
## 2. ΤΟ ΕΝΕΡΓΟ DI (ACTIVE DI)

### 2.1 Αρχή λειτουργίας του ενεργού DI

Το ενεργό DI (active DI) όπως ήδη έχω αναφέρει χρησιμοποιεί ηλεκτρικό κύκλωμα με τελεστικούς ενισχυτές για να μετατρέψει και να απομονώσει το σήμα εξόδου από το σήμα εισόδου. Έτσι πετυχαίνει πολύ καλή απόδοση χωρίς απώλειες. Απαιτεί όμως την ύπαρξη τροφοδοσίας για να λειτουργήσει (48 V phantom power από κονσόλα ή μπαταρία) και η πολύπλοκη σχεδίασή του αυξάνει αισθητά το κόστος του.

### 2.2 Τα μέρη ενός ενεργού DI

Παρακάτω φαίνονται οι δύο όψεις ενός συνήθους ενεργού DI (Behringer GI100 Ultra G Active DI Box) που θα βοηθήσουν στην περιγραφή των μερών του (Σχ. 2.1).



Σχ. 2.1 Behringer GI100 Ultra G Active DI Box

Ένα σύνθηες ενεργό DI αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

1. Διακόπτης ON/OFF για προσομοίωση χρωματισμού καμπίνας ηχείου (virtual 4 x 12" cab simulator).
2. Κουμπί ground lift το οποίο όταν πατηθεί απομονώνει τη γείωση μεταξύ εισόδου (input) και εξόδου (output). Ανάλογα με τις γειώσεις του εξοπλισμού αυτό μπορεί να εξαλείψει τυχόν θορύβους από βρόγχους γείωσης.
3. Ισοσταθμισμένη έξοδος σήματος σε φιο XLR.
4. Θήκη μπαταριών για λειτουργία με μπαταρίες όταν δεν υπάρχει δυνατότητα τροφοδοσίας με phantom power από κονσόλα.
5. Φωτάκι clip (clip led) το οποίο ανάβει όταν η στάθμη του σήματος εισόδου είναι υψηλή και δημιουργεί παραμόρφωση.
6. Δύο κουμπιά -20 dB pad για μείωση της στάθμης του σήματος εισόδου σε περίπτωση που αυτή είναι υψηλή και δημιουργεί παραμόρφωση (clip).
7. Είσοδος ηχητικού σήματος τύπου 1/4" jack (standard instrument input 1/4" mono jack).
8. Direct link to cabinet είναι μια απευθείας έξοδος (direct output) του σήματος εισόδου (input signal) αν θέλουμε π.χ. να το στείλουμε και σε έναν άλλον ενισχυτή.

## 2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά ενός ενεργού DI

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά ενός ενεργού DI είναι τα εξής :

1. Frequency response – Απόκριση συχνότητας : Το εύρος συχνοτήτων που μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά η συσκευή, π.χ. 20 Hz to 20 kHz,  $\pm 0.3$  dB.
2. Noise ή Signal to Noise ratio – Θόρυβος ή Αναλογία Σήματος προς Θόρυβο : Πόσο δυνατότερη στάθμη έχει το σήμα σε σχέση με το θόρυβο, π.χ. 100 dBu.
3. Distortion ή Total Harmonic Distortion (THD) – Παραμόρφωση ή Ολική Αρμονική Παραμόρφωση : Πόσο επί τοις εκατό δημιουργείται παραμόρφωση στη συσκευή από τις αρμονικές συχνότητες, π.χ.  $< 0.014$  % at 1 kHz, 0 dbu in.
4. Input resistance – Αντίσταση εισόδου : Πόσα Ohms είναι η αντίσταση εισόδου της συσκευής, π.χ.  $> 250$  kOhm.
5. Connection ή Load impedance – Αντίσταση σύνδεσης ή φορτίου : Πόσα Ohms είναι η αντίσταση εξόδου της συσκευής, π.χ.  $> 600$  Ohm.
6. Input – Είσοδος : Ο τύπος εισόδου του ηχητικού σήματος, π.χ. 1/4" mono jack.
7. Output – Έξοδος : Ο τύπος εξόδου του ηχητικού σήματος, π.χ. XLR balanced.
8. Maximum Input Level – Μέγιστη στάθμη εισόδου : Τα ανώτατα επίπεδα στάθμης εισόδου που μπορεί να δεχθεί η συσκευή σε dBu, π.χ. +28 dBu.
9. Power supply – Τροφοδοσία : Πόσα Volt χρειάζεται η συσκευή για να λειτουργήσει. Π.χ. 18 – 48 V DC.
10. Battery – Μπαταρία : Τι τύπο μπαταρίας δέχεται η συσκευή. Π.χ. 9 V 6LR91.

Παρακάτω φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Behringer GI100 Ultra G Active DI Box.

### ULTRA-G GI100

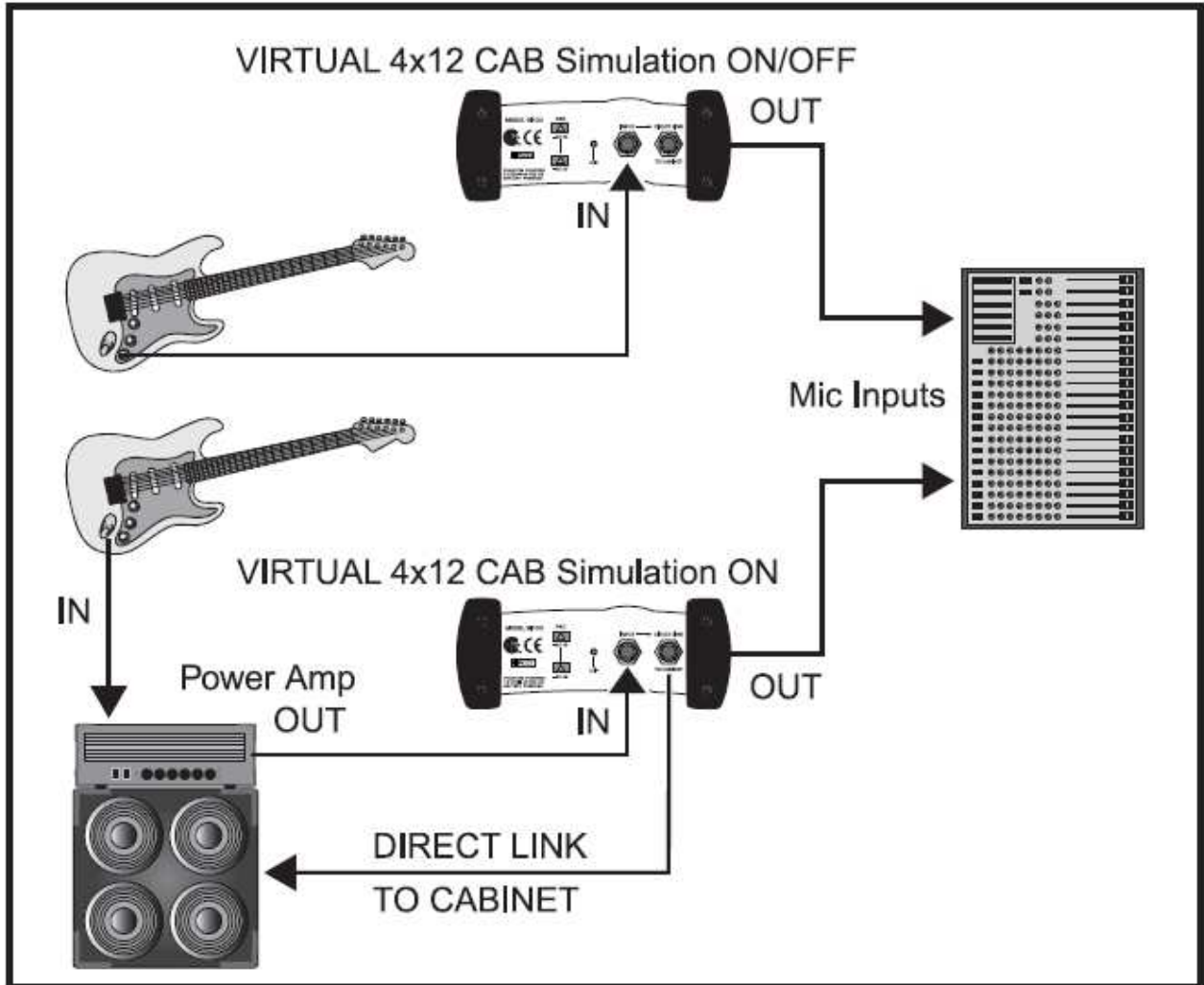
#### SPECIFICATIONS

Frequency response	10 Hz to 160 kHz
Noise	-99.2 dBu
Distortion	$< 0.014\%$ (1 kHz, 0 dBu in)
Input resistance	$> 250$ kOhm
Connection impedance	$> 600$ Ohm
Input	1/4" mono jack
Output	XLR balanced
Max. input level	+8/+28/+48 dBu (Simulation OFF) -2/+18/+38 dBu (Simulation ON)
Supply:	
Phantom supply	18 V DC to 48 V DC
Battery	9 V 6LR91
Dimensions	6" (150 mm) x 5" (130 mm) x 2.4" (60 mm)
Weight	approx. 650 g



## 2.4 Τυπικές συνδεσμολογίες ενός ενεργού DI

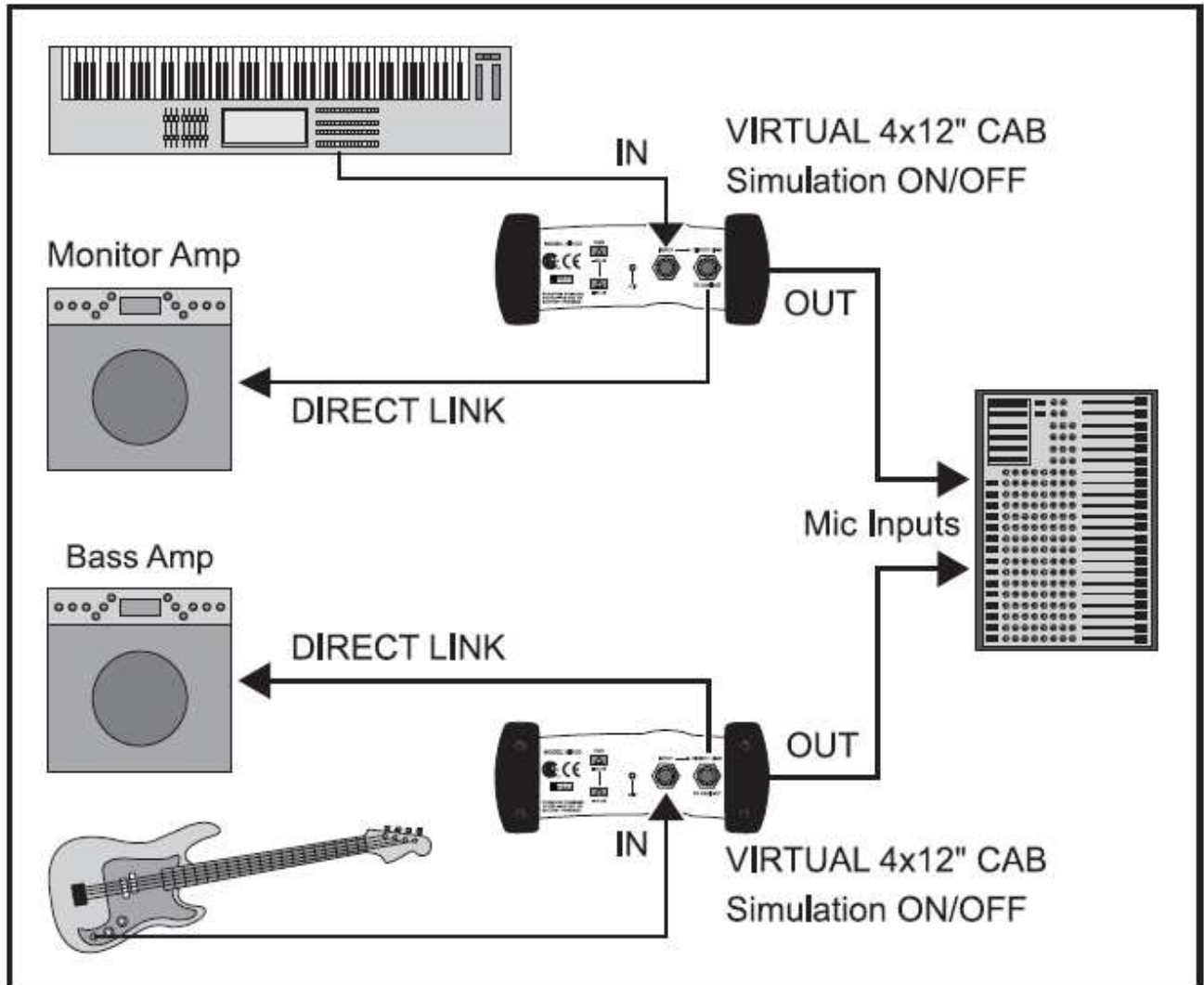
Στα παρακάτω σχήματα (Σχ. 2.2 και 2.3) φαίνονται οι τυπικές συνδεσμολογίες ενός ενεργού DI.



Σχ. 2.2 Σύνδεση ηλεκτρικής κιθάρας σε DI και κονσόλα

Στο σχήμα 2.2 στην πρώτη περίπτωση συνδέεται η κιθάρα απευθείας στην είσοδο (input) του DI και η έξοδός του (output) συνδέεται σε μία είσοδο (mic input) της κονσόλας.

Στη δεύτερη περίπτωση συνδέεται η κιθάρα σε έναν ενισχυτή και η έξοδος του ενισχυτή (power amp out) συνδέεται στην είσοδο (input) του DI. Από την έξοδο Direct link to cabinet συνδέεται το DI σε ένα ηχείο (μπορεί να είναι και η καμπίνα ηχείου του ενισχυτή), και η έξοδός του (output) όπως και προηγουμένως συνδέεται σε μία είσοδο (mic input) της κονσόλας. Το DI μπορεί να τροφοδοτείται είτε από το phantom power της κονσόλας είτε από μπαταρίες. Τέλος μπορούμε να επιλέξουμε αν θέλουμε προσομοίωση χρωματισμού καμπίνας ηχείου (speaker simulation) με το κουμπί ON/OFF Virtual Cab Simulation.



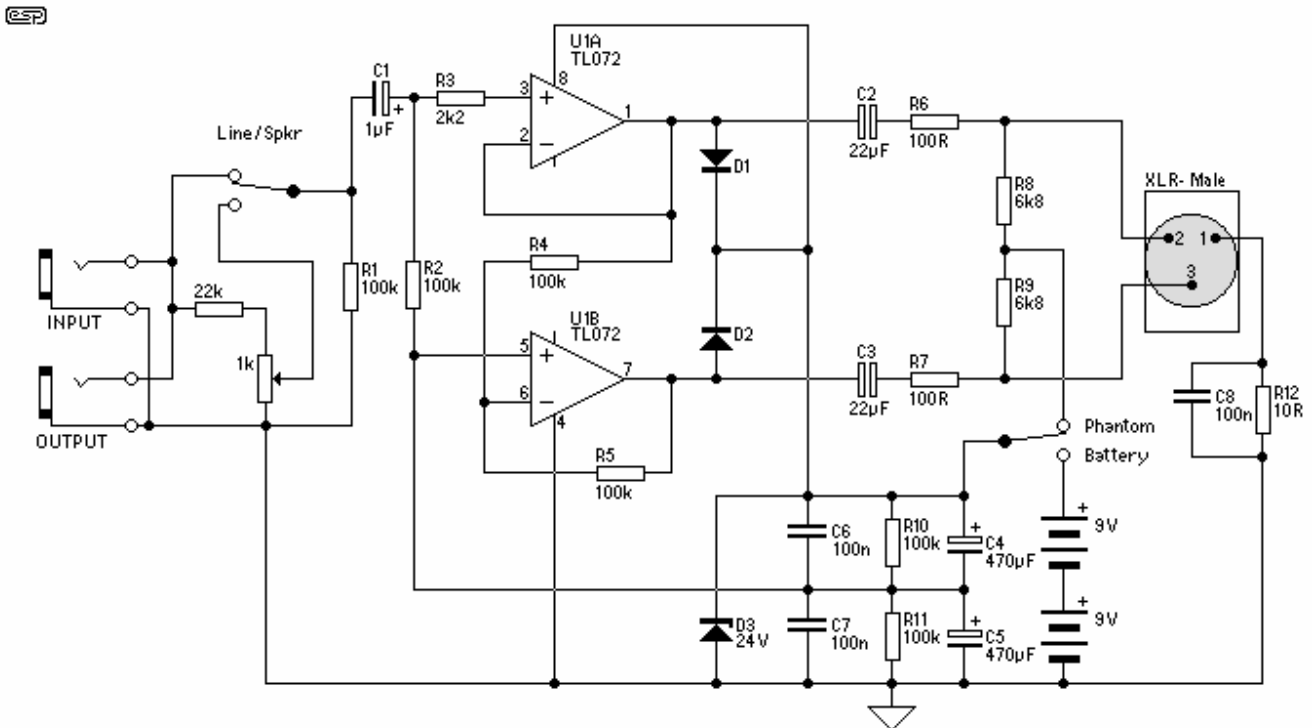
Σχ. 2.3 Σύνδεση synthesizer και ηλεκτρικού μπάσου σε DI και κονσόλα

Στο σχήμα 2.3 βλέπουμε ανάλογες συνδέσεις ενός synthesizer και ενός ηλεκτρικού μπάσου και στις δύο περιπτώσεις με χρήση της εξόδου Direct link to cabinet, που καταλήγει σε έναν ενισχυτή μόνιτορ (monitor amp) και έναν ενισχυτή μπάσου (bass amp) αντίστοιχα.

### 3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΟΥ DI

#### 3.1 Ηλεκτρικό κύκλωμα και υλικά του ενεργού DI

Στο παρακάτω σχήμα (σχ. 3.1) φαίνεται το ηλεκτρικό κύκλωμα που χρησιμοποιήσα για την κατασκευή του ενεργού DI. Το κύκλωμα αυτό προέρχεται από την ιστοσελίδα <http://sound.westhost.com/project35.htm> της εταιρείας **Elliott Sound Products**, που ειδικεύεται σε κατασκευές ηχητικού εξοπλισμού.



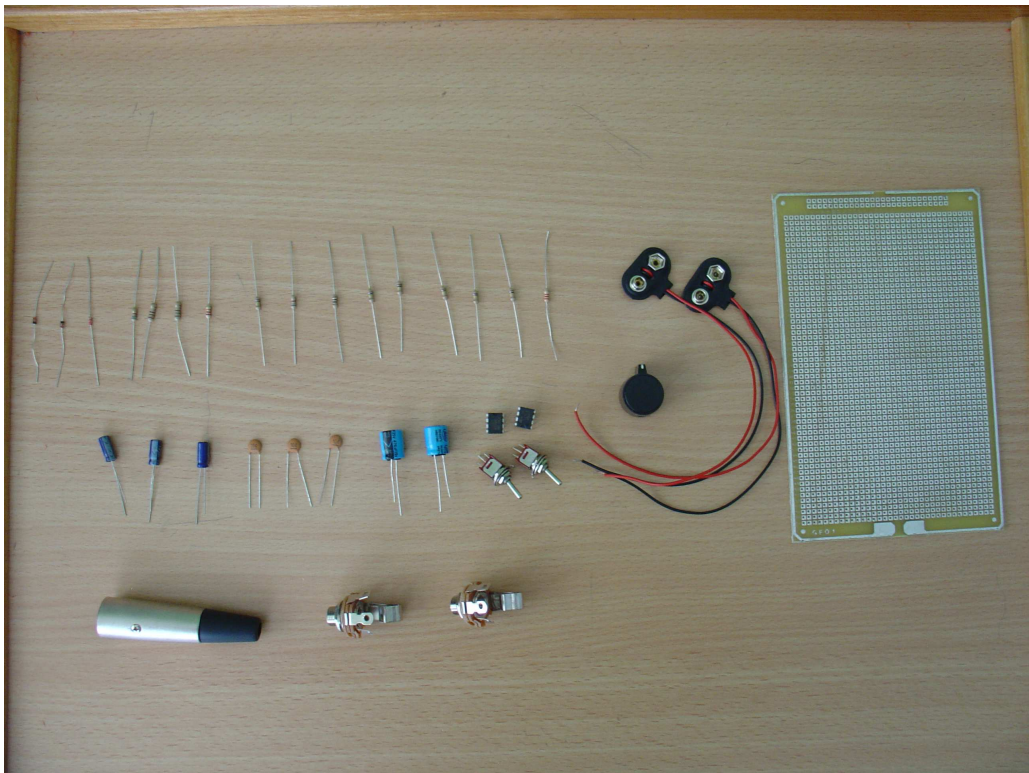
Σχ. 3.1 Ηλεκτρικό κύκλωμα ενεργού DI

Τα υλικά που χρησιμοποιήσα σύμφωνα με το παραπάνω κύκλωμα είναι τα εξής :

- 2 υποδοχές 1/4" jack
- 2 διακόπτες με 3 ποδαράκια
- 1 ροοστάτη 1 ΚΩ
- 1 αντίσταση 22 ΚΩ
- 6 αντιστάσεις 100 ΚΩ
- 1 αντίσταση 2.2 ΚΩ
- 2 αντιστάσεις 100 Ω
- 2 αντιστάσεις 6.8 ΚΩ
- 1 αντίσταση 10 Ω
- 1 ολοκληρωμένο με 2 τελεστικούς ενισχυτές TL072
- 2 διόδους IN4148
- 1 δίοδος Zener 24V

- 1 πυκνωτή 1  $\mu\text{F}$
- 2 πυκνωτές 22  $\mu\text{F}$
- 3 πυκνωτές 100 nF
- 2 πυκνωτές 470  $\mu\text{F}$
- 1 υποδοχή XLR male
- 1 διάτρητη πλακέτα
- 2 φις μπαταριών 9 V

Στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 3.2) φαίνονται τα παραπάνω υλικά.



Σχ. 3.2 Υλικά κατασκευής ενεργού DI

### 3.2 Συνοπτική παρουσίαση του κυκλώματος

Αριστερά του κυκλώματος βλέπουμε το τμήμα εισόδου. Αποτελείται από μια είσοδο τύπου 1/4" jack και μια απευθείας έξοδο της εισόδου επίσης τύπου 1/4" jack. Λίγο δεξιότερα υπάρχει ένας διακόπτης επιλογής Line/Speaker. Όταν είναι στη θέση Line η είσοδος βγαίνει απευθείας στην έξοδο ενώ όταν είναι στη θέση Speaker (για δυνατά σήματα) η είσοδος περνάει από τις αντιστάσεις 22 k και το ροοστάτη 1 k για ρύθμιση της στάθμης του σήματος.

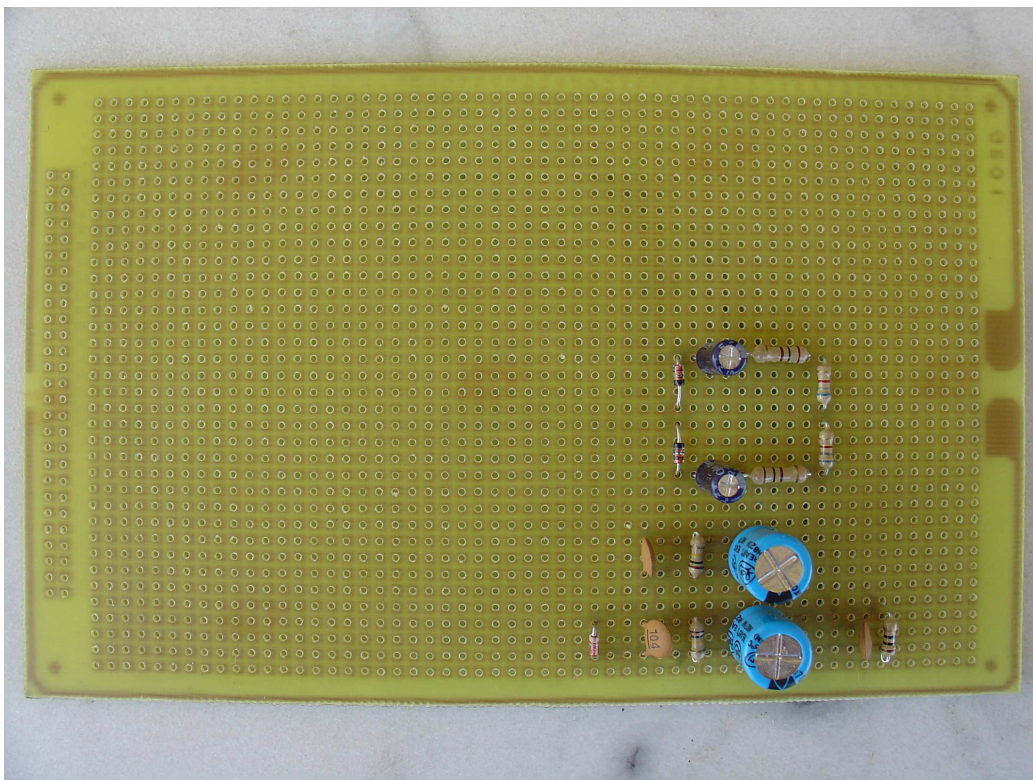
Προχωρώντας δεξιότερα βλέπουμε το κύριο μέρος του κυκλώματος με τους δύο τελεστικούς ενισχυτές του TL072. Οι τελεστικοί χρειάζονται προστασία από την

τροφοδοσία 48 V και αυτό επιτυγχάνεται με τις δύο διόδους D1 και D2 από τις εξόδους των ενισχυτών πίσω στην τροφοδοσία.

Κάτω δεξιά υπάρχει το τμήμα τροφοδοσίας του κυκλώματος το οποίο έχει και ένα διακόπτη επιλογής Phantom/Battery. Τέλος δεξιά και πάνω βλέπουμε το τμήμα εξόδου τύπου XLR male στο οποίο συνδέεται και η τροφοδοσία Phantom Power 48 V στα pins 2 (hot +ve signal) και 3 (cold -ve signal). Το pin 1 πάει στη γείωση (ground). Επειδή είναι αρκετά πολύπλοκο για να υπάρχει διακόπτης απομόνωσης της γείωσης (earth lift switch), το κύκλωμα διαθέτει ένα τμήμα απομόνωσης γείωσης (earth isolation circuit) το οποίο είναι η αντίσταση R12 10 Ω και ο πυκνωτής C8 100 n ακριβώς κάτω από την έξοδο τύπου XLR male.

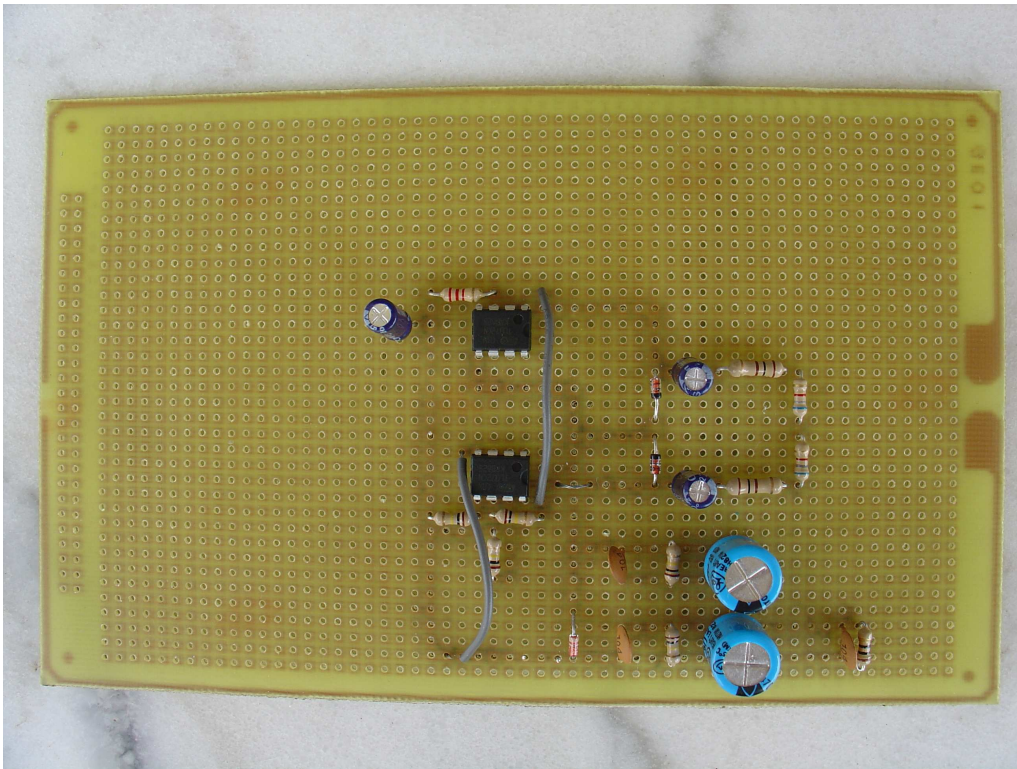
### 3.3 Διαδικασία κατασκευής του ενεργού DI

Ακολουθώντας πιστά το σχέδιο του κυκλώματος άρχισα να φτιάχνω το DI με τη βοήθεια ενός φίλου μου ηλεκτρονικού στο εργαστήριό του, ξεκινώντας από το δεξιό μέρος του σχεδίου όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 3.3).



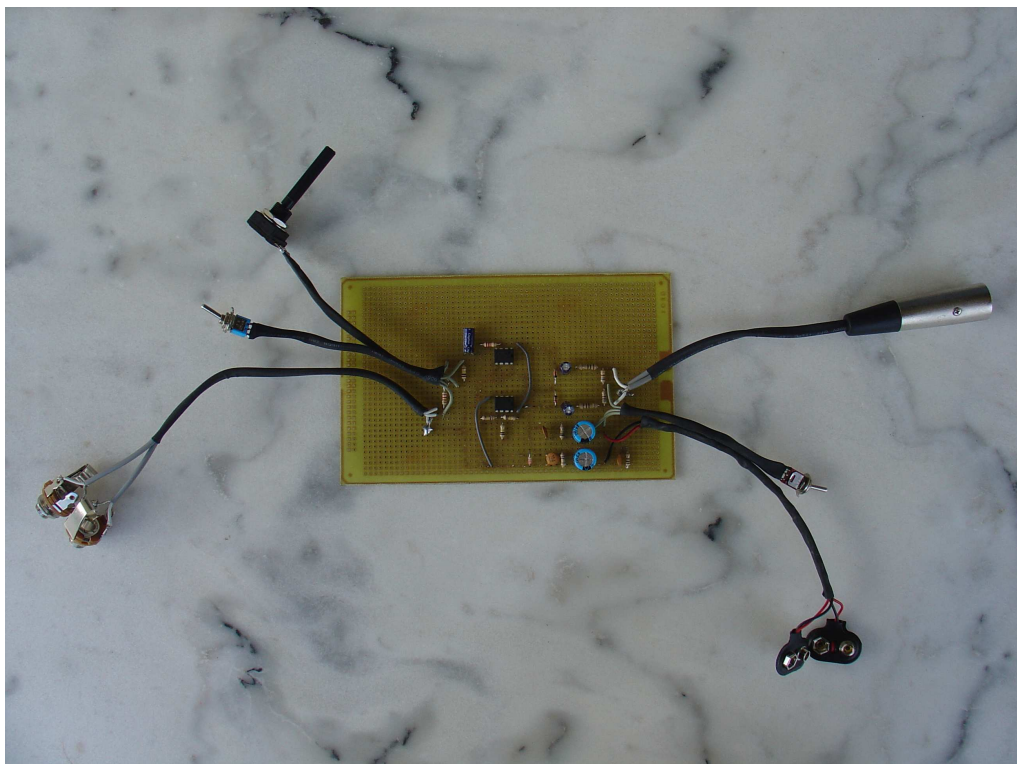
Σχ. 3.3 Πρώτο στάδιο κατασκευής του DI

Στη συνέχεια ασχολήθηκα με το μεσαίο μέρος του σχεδίου όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 3.4).



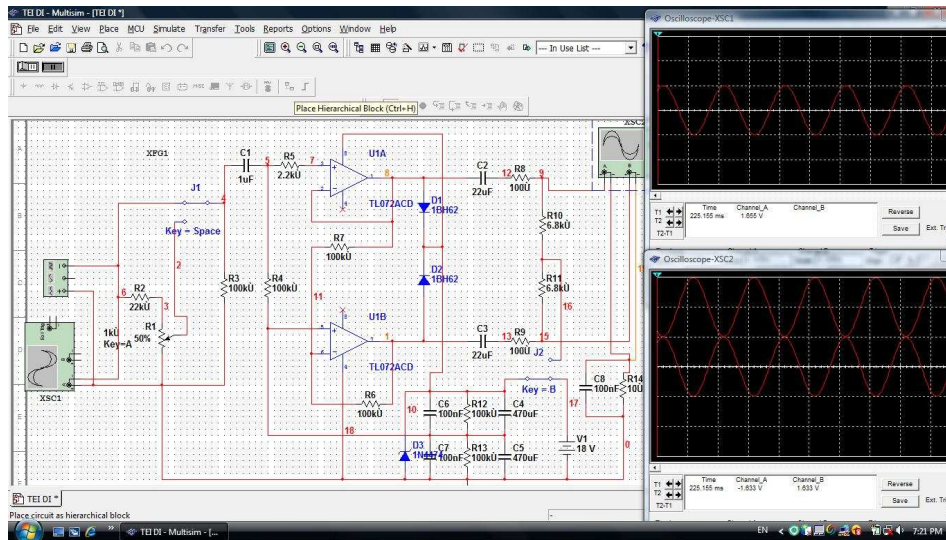
Σχ. 3.4 Δεύτερο στάδιο κατασκευής του DI

Τέλος έφτιαξα και τα υπόλοιπα τμήματα του DI (υποδοχές, εξόδους, διακόπτες, φως μπαταριών κ.α.) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 3.5).



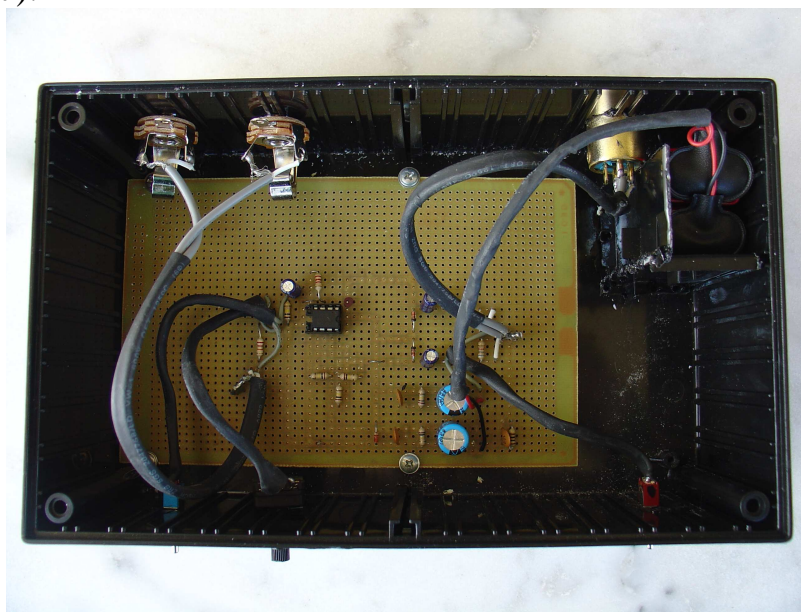
Σχ. 3.5 Τρίτο στάδιο κατασκευής του DI

Η κατασκευή του DI ήταν μια χρονοβόρα διαδικασία που με δυσκόλεψε αρκετά, καθώς δεν έχω μεγάλη εμπειρία σε κατασκευές ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Αρχικά το κύκλωμα δεν δούλευε. Πρώτο λάθος που αντιλήφθηκα όπως φαίνεται και στις παραπάνω φωτογραφίες, είναι ότι χρησιμοποίησα δύο ολοκληρωμένα TL072 ενώ χρειάζεται μόνο ένα. Και πάλι όμως το κύκλωμα δεν δούλευε. Το έλεγξα ξανά αλλά μάταια. Για αυτό έκανα μια εξομοίωση του κυκλώματος στο πρόγραμμα MULTISIM για να σιγουρευτώ ότι δουλεύει και όντως δούλευε όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχ.3.6).



Σχ.3.6 Εξομοίωση του κυκλώματος στο MULTISIM

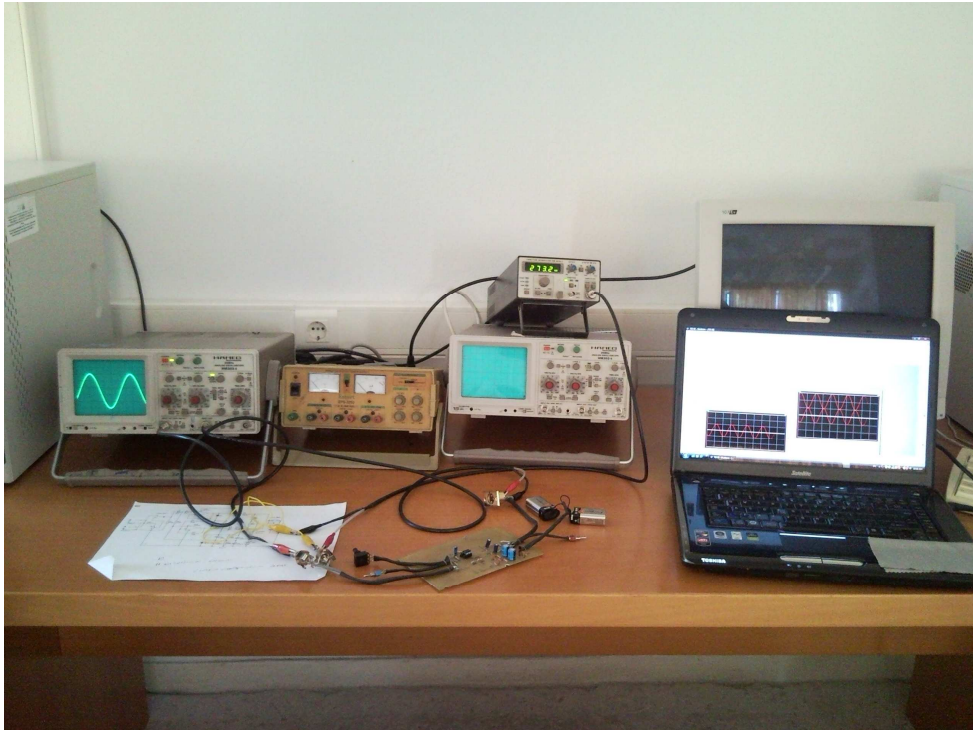
Άρα κάτι δεν έκανα καλά ή κάτι είχα κάνει λάθος στην κατασκευή του. Όπως αποδείχθηκε και με τη βοήθεια του επιβλέποντος καθηγητή κ. Βενιέρη Εμμανουήλ, το πρόβλημα εστιαζόταν σε κάποιες «κακές (ψυχρές) επαφές» και λανθασμένες συνδέσεις 1 - 2 γραμμών λόγω απειρίας και απροσεξίας. Παρακάτω φαίνεται το DI μέσα στο κουτί του (Σχ. 3.7).



Σχ. 3.7 Το DI μέσα στο κουτί του

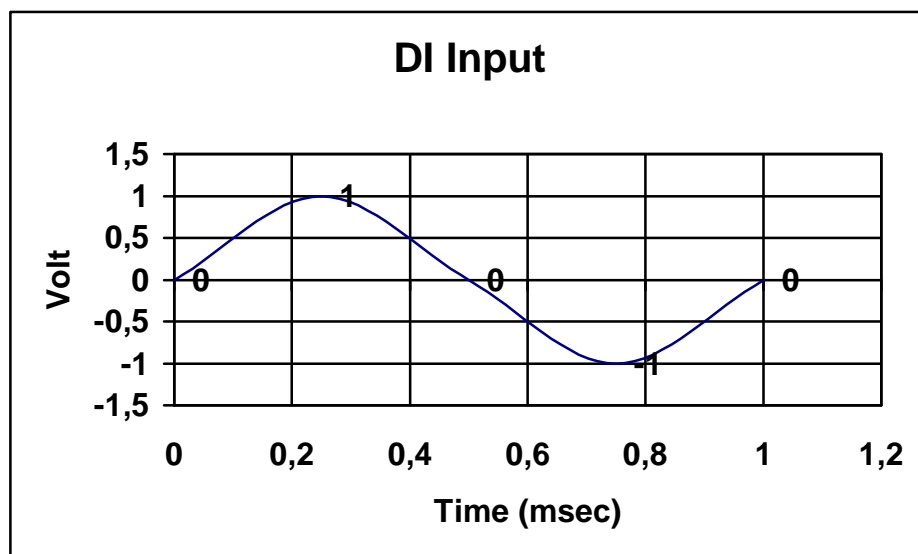
### 3.4 Δοκιμή του ενεργού DI

Δοκιμάζοντας το DI στο εργαστήριο του ΤΕΙ για να βρω κάποια χαρακτηριστικά του είδα ότι πάλι έκανε διακοπές. Εκεί που δούλευε σταματούσε να δουλεύει και αντίστροφα, όταν κουνιόταν λίγο. (Σχ. 3.8).

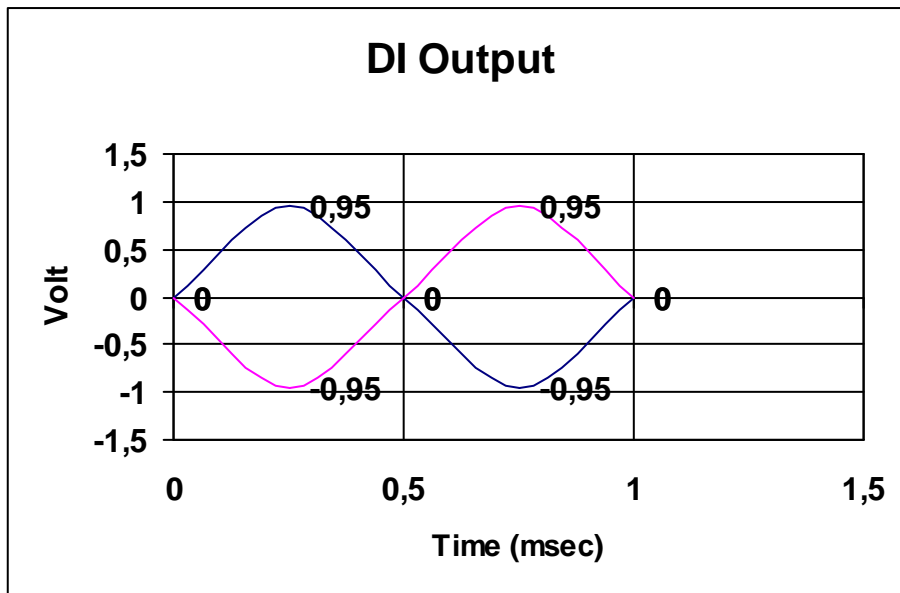


Σχ. 3.8 Δοκιμή του DI στο εργαστήριο

Παρακάτω φαίνονται πιο αναλυτικά η είσοδος και οι δυο έξοδοι του DI σύμφωνα με τον παλμογράφο στο 1kHz και 2 Volt PP είσοδο (Σχ. 3.9).

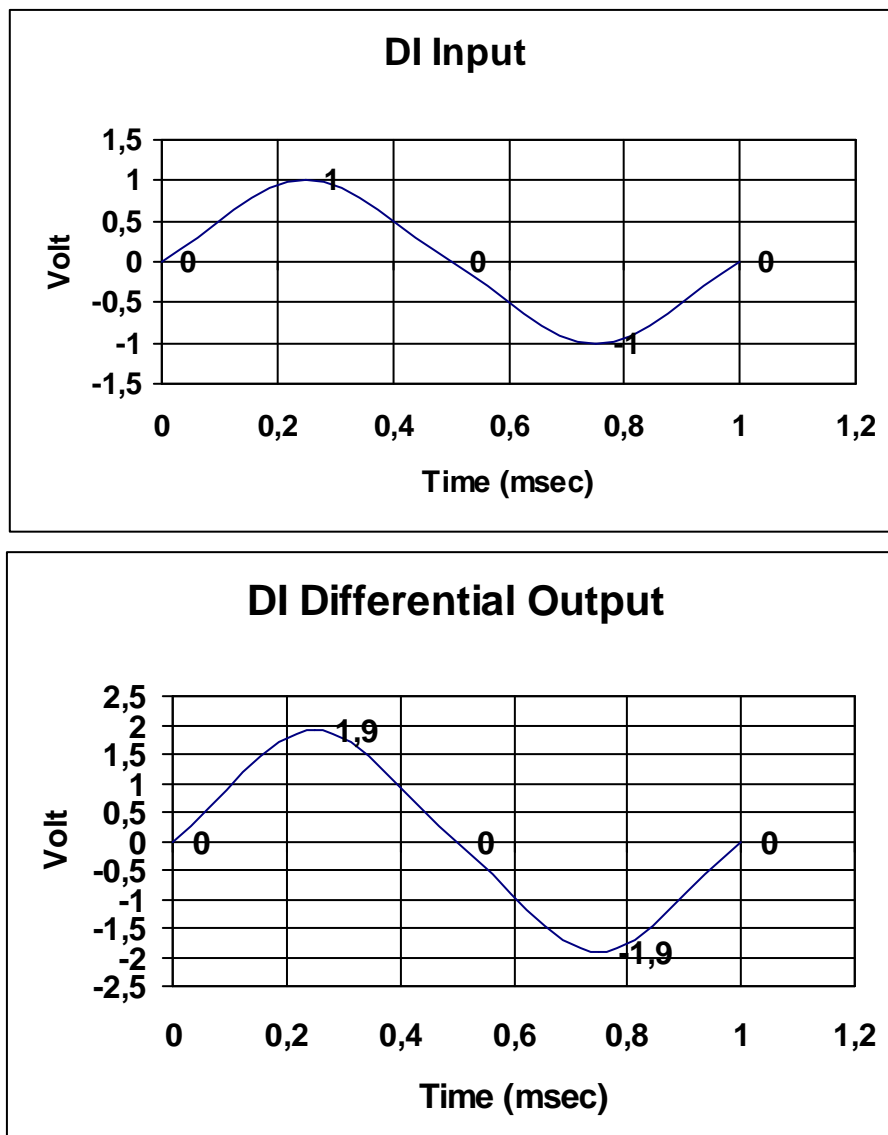






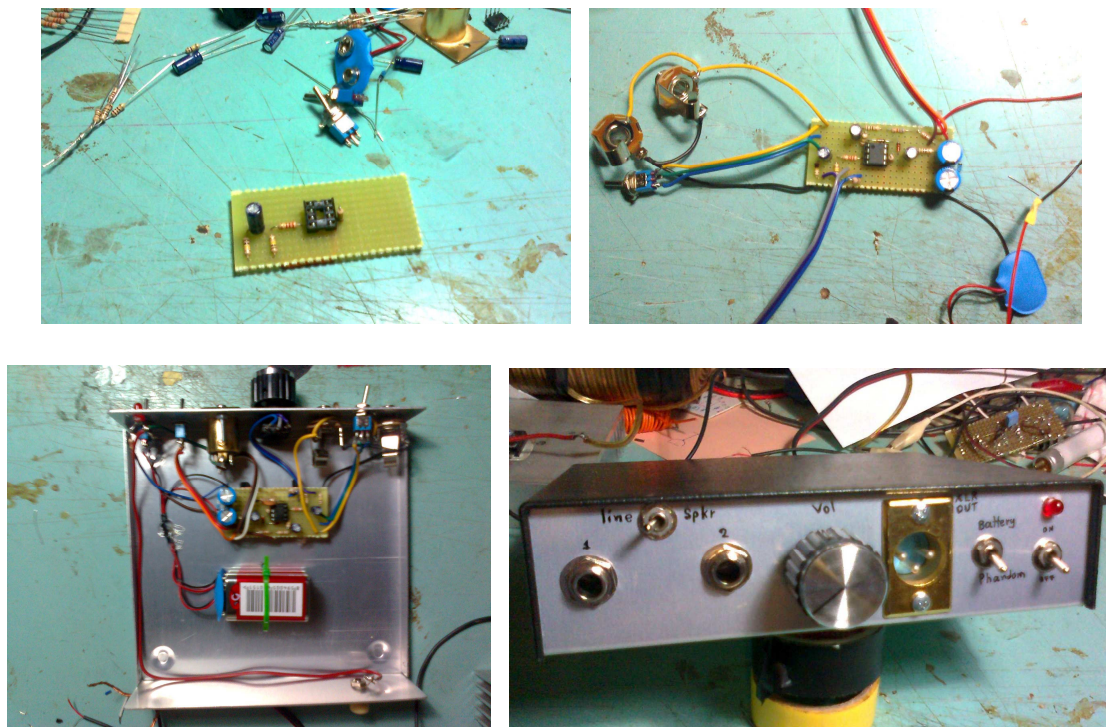
Σχ. 3.9 Είσοδος και έξοδοι του DI

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η είσοδος και η διαφορική έξοδος του DI (Σχ. 3.10).



Σχ. 3.10 Είσοδος και διαφορική έξοδος του DI

Βλέποντας ότι το DI δεν δούλευε σωστά, αποφάσισα να το φτιάξω από την αρχή πιο προσεκτικά αντί να ψάχνω για πολλοστή φορά τι φταίει. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται φωτογραφίες από την 2<sup>η</sup> κατασκευή του DI (Σχ. 3.11).

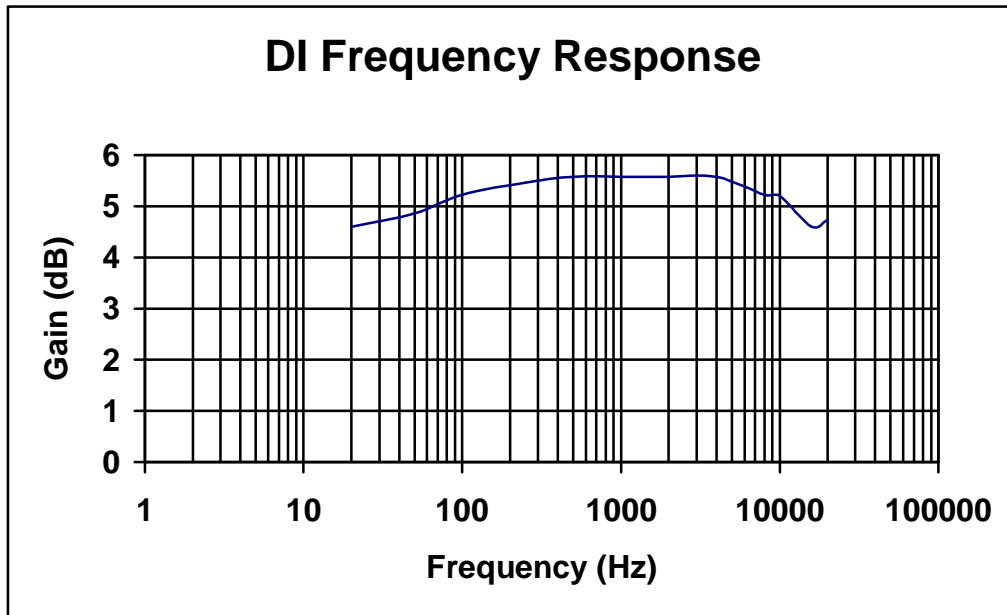


Σχ. 3.11 Φωτογραφίες από την 2<sup>η</sup> κατασκευή του DI

Επιτέλους αυτή τη φορά το DI δούλευε. Τελικά τη δοκιμή του DI την κάναμε στο προσωπικό εργαστήριο του κ. Βενιέρη Εμμανουήλ έπειτα από προτροπή του ιδίου. Η έξοδος του DI έβγαινε από μια μικρή κονσόλα. Έτσι καλιμπράραμε τα σήματα εισόδου – εξόδου του DI ώστε να συμφωνούν με αυτά που έδειχνε ο παλμογράφος στο ΤΕΙ στο 1 kHz και 2 Volt PP είσοδο. Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας με τις τιμές εισόδου – διαφορικής εξόδου του DI για διάφορες συχνότητες από 20 Hz – 20 kHz.

Frequency (Hz)	Vin P-P(Volt)	Vout P-P(Volt)	Gain (dB) $20 \cdot \log(V_{out}/V_{in})$
20	2	3.4	4.6
50	2	3.5	4.86
100	2	3.65	5.23
250	2	3.75	5.46
500	2	3.8	5.58
1000	2	3.8	5.58
2000	2	3.8	5.58
4000	2	3.8	5.58
8000	2	3.65	5.23
10000	2	3.64	5.2
16000	2	3.4	4.6
20000	2	3.45	4.74

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η απόκρισή του από 20 Hz – 20 kHz (Σχ. 3.12).



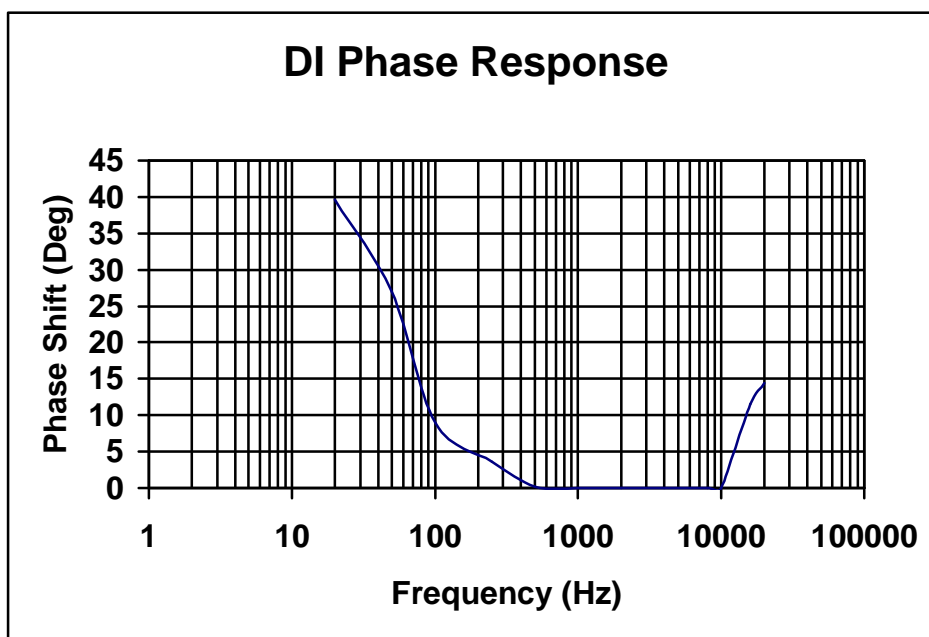
Σχ. 3.12 Απόκριση συχνότητας ενεργού DI

Βλέπουμε ότι στην περιοχή 500 – 4000 Hz έχει ευθεία απόκριση ενώ η μέγιστη πτώση που παρουσιάζει είναι 0.98 dB.

Έπειτα μελετήσαμε τη μετατόπιση (διαφορά) φάσης εισόδου – εξόδου. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Frequency (Hz)	Phase shift (msec)	Phase shift (degrees)
20	5.5	39.6
50	1.5	27
100	0.25	9
250	0.04	3.6
500	0.001	0.18
1000	0	0
2000	0	0
4000	0	0
8000	0	0
10000	0	0
16000	0.002	11.52
20000	0.002	14.4

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η διαφορά φάσης εισόδου - εξόδου του από 20 Hz – 20 kHz (Σχ. 3.13).



Σχ. 3.13 Απόκριση φάσης του DI

Βλέπουμε ότι η βέλτιστη περιοχή λειτουργίας του DI όσο αφορά τη διαφορά φάσης εισόδου – εξόδου είναι από 500 – 10.000 Hz με μέγιστη απόκλιση 39.6°.

Μετά πήραμε μετρήσεις σχετικά με την Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion).

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1}$$

Τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες ανά συχνότητα.

Frequency = 20 Hz		
Αρμονική	Πτώση dB	Volt
3 <sup>η</sup>	-24	0.13
5 <sup>η</sup>	-30	0.06
7 <sup>η</sup>	-36	0.03
<b>THD = 0.07 %</b>		

Frequency = 50 Hz		
Αρμονική	Πτώση dB	Volt
2 <sup>η</sup>	-27	0.09
3 <sup>η</sup>	-31	0.06
4 <sup>η</sup>	-37	0.03
<b>THD = 0.05 %</b>		

Frequency = 100 Hz		
Αρμονική	Πτώση dB	Volt
2 <sup>η</sup>	-36	0.03
3 <sup>η</sup>	-36	0.03

4 <sup>η</sup>	-46	0.01
<b>THD = 0.02 %</b>		

<b>Frequency = 250 Hz</b>		
<b>Αρμονική</b>	<b>Πτώση dB</b>	<b>Volt</b>
2 <sup>η</sup>	-40	0.02
3 <sup>η</sup>	-34	0.04
4 <sup>η</sup>	-57	0.003
5 <sup>η</sup>	-42	0.02
7 <sup>η</sup>	-50	0.006
<b>THD = 0.02 %</b>		

<b>Frequency = 500 Hz</b>		
<b>Αρμονική</b>	<b>Πτώση dB</b>	<b>Volt</b>
2 <sup>η</sup>	-42	0.02
3 <sup>η</sup>	-37.5	0.03
4 <sup>η</sup>	-58.5	0.002
5 <sup>η</sup>	-41	0.02
6 <sup>η</sup>	-59	0.002
7 <sup>η</sup>	-51	0.006
9 <sup>η</sup>	-55	0.004
<b>THD = 0.02 %</b>		

<b>Frequency = 1000 Hz</b>		
<b>Αρμονική</b>	<b>Πτώση dB</b>	<b>Volt</b>
2 <sup>η</sup>	-42	0.02
3 <sup>η</sup>	-37.5	0.03
4 <sup>η</sup>	-58.5	0.002
5 <sup>η</sup>	-41	0.02
6 <sup>η</sup>	-59	0.002
7 <sup>η</sup>	-51	0.006
9 <sup>η</sup>	-55	0.004
<b>THD = 0.02 %</b>		

<b>Frequency = 2000 Hz</b>		
<b>Αρμονική</b>	<b>Πτώση dB</b>	<b>Volt</b>
2 <sup>η</sup>	-42	0.02
3 <sup>η</sup>	-35	0.04
4 <sup>η</sup>	-53	0.004
5 <sup>η</sup>	-42	0.02
6 <sup>η</sup>	-62.5	0.002

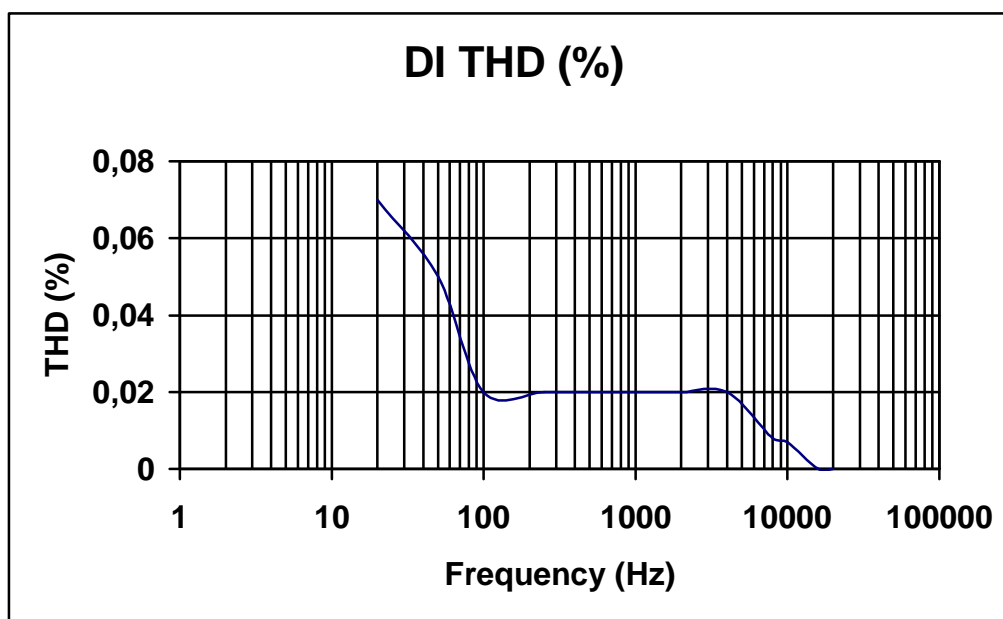
7 <sup>η</sup>	-51	0.006
<b>THD = 0.02 %</b>		

<b>Frequency = 4000 Hz</b>		
<b>Αρμονική</b>	<b>Πτώση dB</b>	<b>Volt</b>
2 <sup>η</sup>	-40	0.02
3 <sup>η</sup>	-35	0.04
4 <sup>η</sup>	-52	0.005
5 <sup>η</sup>	-45	0.01
<b>THD = 0.02 %</b>		

<b>Frequency = 8000 Hz</b>		
<b>Αρμονική</b>	<b>Πτώση dB</b>	<b>Volt</b>
2 <sup>η</sup>	-42	0.02
<b>THD = 0.008 %</b>		

<b>Frequency = 10000 Hz</b>		
<b>Αρμονική</b>	<b>Πτώση dB</b>	<b>Volt</b>
2 <sup>η</sup>	-43	0.01
<b>THD = 0.007 %</b>		

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD) του DI από 20 Hz – 20 kHz (Σχ. 3.14).



Σχ. 3.14 Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD) του DI

Βλέπουμε ότι η THD είναι αρκετά χαμηλή και εξαιρετικά χαμηλή από 100 Hz – 20.000 Hz. Επίσης παρατηρήσαμε ότι για χαμηλά σήματα (0.5 Volt P-P) εμφανίζεται μόνο η 2<sup>η</sup> αρμονική σε κάποιες συχνότητες με πτώση περίπου -60 dB.

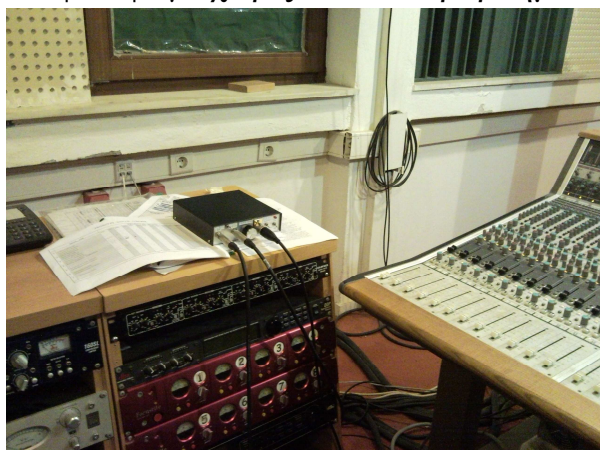
Έπειτα υπολογίσαμε το CMRR (Common Mode Rejection Ratio)

$$\text{CMRR} = 10 \log_{10} \left( \frac{A_d}{A_{\text{cm}}} \right)^2 = 20 \log_{10} \left( \frac{A_d}{|A_{\text{cm}}|} \right)$$

το οποίο το βρήκαμε ίσο με 79.27 dB. Μετά είδαμε το Max Output Without Clipping το οποίο είναι 4.7 Volt P-P. Τέλος βρήκαμε το Dynamic Range που είναι 125 dB. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα χαρακτηριστικά (Specifications) του DI.

SPECIFICATIONS	
Frequency response	10 Hz to 200 kHz 20 Hz to 20 kHz, $\pm 0.98$ Db
Input - Output Phase Shift	20 Hz to 20 kHz, $0^\circ - 39.6^\circ$
THD (%)	20 Hz to 20 kHz, 0 % - 0.07 %
CMRR	79.27 dB
Max Output Without Clipping	4.7 Volt P-P
Dynamic Range	125 dB
Input resistance	100 K $\Omega$
Connection impedance	98.6 K $\Omega$
Input	1/4" mono jack
Output	XLR balanced, 1/4" mono jack thru
Phantom supply	18 V DC to 48 V DC
Battery	2 x 9 V 6LR91

Σαν τελευταία δοκιμή έκανα και μια ηχογράφιση στο στούντιο με το DI για να δω πως δουλεύει και στην πράξη (Σχ. 3.15), την οποία μπορούμε να ακούσουμε. Το DI δούλεψε άψογα χωρίς κανένα πρόβλημα.



Σχ. 3.15 Δοκιμαστική ηχογράφιση με το DI στο στούντιο

## 4. ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μέσα από αυτή την πτυχιακή εργασία είχα την ευκαιρία να μάθω αναλυτικά και με λεπτομέρεια τι είναι και τι κάνει ένα ενεργό DI και να δω στην πράξη στο εργαστήριο ακριβώς πως λειτουργεί. Όπως είδαμε ένα DI κάνει τις εξής σημαντικές λειτουργίες :

- α) Ταίριασμα των αντιστάσεων εισόδου - εξόδου (impedance matching).
- β) Μετατροπή του unbalanced (μη ισοσταθμισμένου) σήματος σε balanced (ισοσταθμισμένο) σήμα.
- γ) Απομόνωση του σήματος εισόδου από το σήμα εξόδου και δυνατότητα διακοπής της γείωσης (ground lift).
- δ) Ρύθμιση της στάθμης του σήματος.

Όλες αυτές οι παραπάνω λειτουργίες που κάνει το DI είναι απαραίτητες στην ηχοληψία ώστε να βελτιστοποιούν ένα εισερχόμενο ηχητικό σήμα (input audio signal) και να εξαλείφουν τυχόν προβλήματα όπως θόρυβος, παραμόρφωση, μακριά καλώδια κ.ο.κ. .

Το DI συναντάται σε δύο βασικούς τύπους :

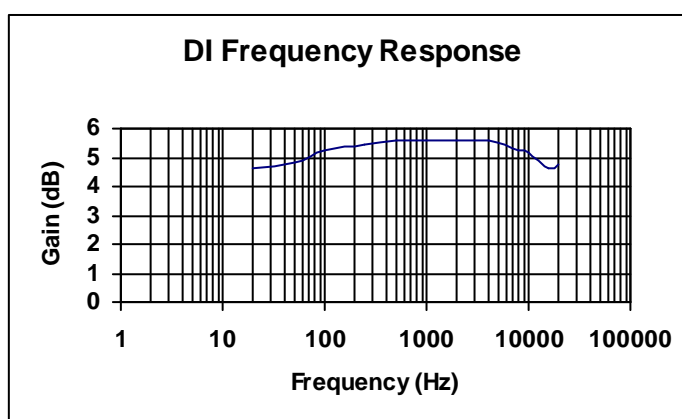
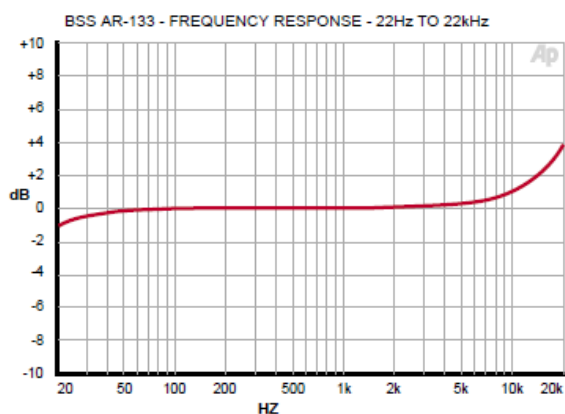
- α) Το παθητικό DI (passive DI) που χρησιμοποιεί μετασχηματιστή και δεν χρειάζεται τροφοδοσία για να λειτουργήσει και
- β) Το ενεργό DI (active DI) που χρησιμοποιεί τελεστικούς ενισχυτές και χρειάζεται τροφοδοσία (μπαταρία ή 48 V phantom power) για να λειτουργήσει.

Το ενεργό DI είναι καλύτερο από το παθητικό και χρησιμοποιείται συχνότερα, αλλά και πιο ακριβό. Βέβαια μπορεί κάποιος να βρει και αρκετά καλά παθητικά DI με υψηλής ποιότητας μετασχηματιστές. Αλλά και στα ενεργά DI υπάρχουν διαφορές στην ποιότητα ανάλογα με το σχεδιασμό, τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες που προσφέρουν, σε σχέση και με το κόστος.

Μέσα από τη διαδικασία κατασκευής του DI είχα την ευκαιρία να κατασκευάσω ένα δύσκολο για μένα ηλεκτρικό κύκλωμα στο εργαστήριο και να βιώσω από κοντά τα βήματα κατασκευής του, προβλήματα που έπρεπε να ξεπεράσω, δοκιμές για τη λειτουργία του, μετρήσεις από όργανα κ.α. . Λόγω συνθηκών και απειρίας δυσκολεύτηκα αρκετά κατά τη διάρκεια της κατασκευής του, αλλά και με τη βοήθεια κάποιων φίλων ηλεκτρονικών και του επιβλέποντος καθηγητή κ. Βενιέρη Εμμανουήλ κατάφερα να την ολοκληρώσω.

Για την ποιοτική αξιολόγηση του DI ας το συγκρίνουμε με ένα αντικειμενικά πολύ καλό και ακριβό DI του εμπορίου, το **BSS AR-133 Active DI Box** βάσει των χαρακτηριστικών του που δίνει η κατασκευάστρια εταιρεία.

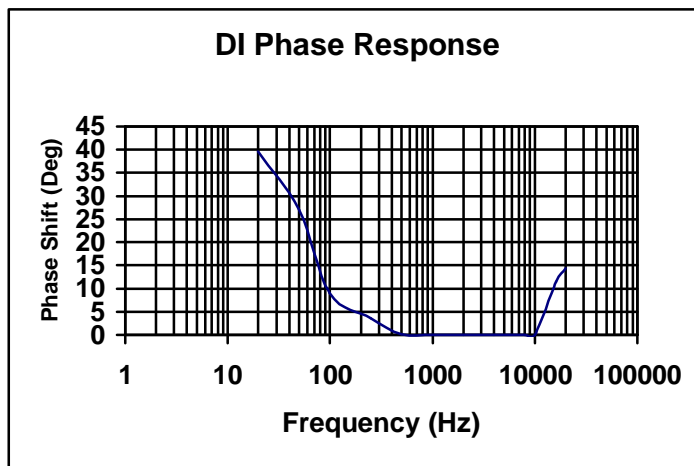
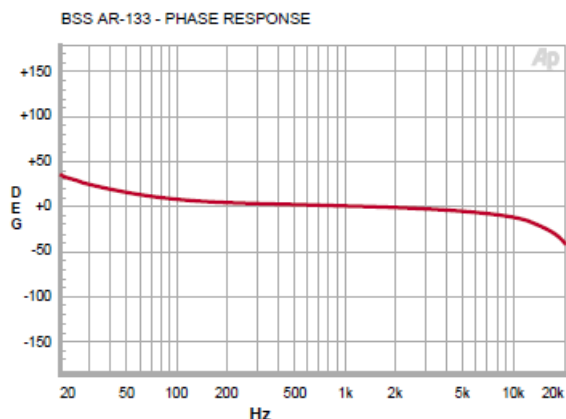
### Απόκριση Συχνότητας (Frequency Response)





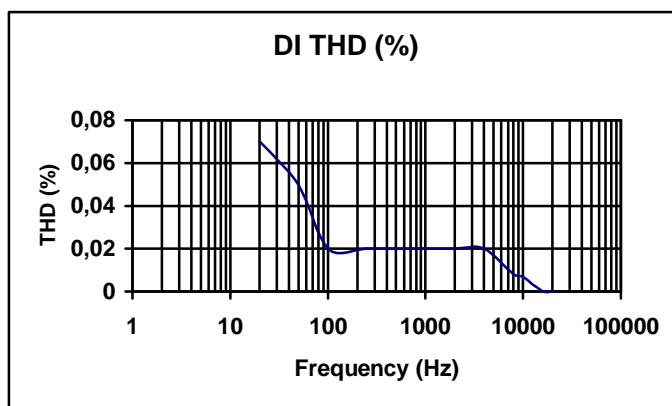
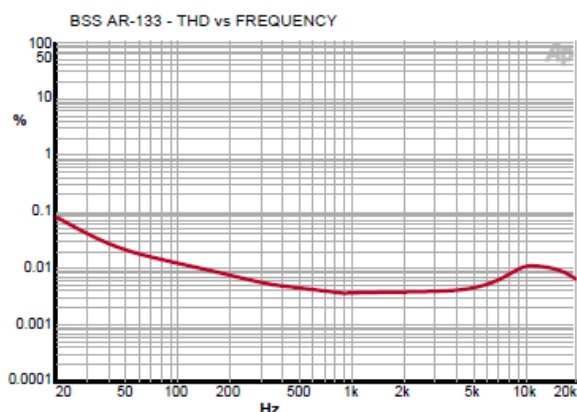
Όπως βλέπουμε από τα διαγράμματα της απόκρισης συχνότητας το BSS AR-133 έχει πιο ευθεία απόκριση από 50 Hz – 5 kHz αλλά μεγαλύτερη απόκλιση ( $\pm 5$  dB) στο εύρος της συχνοτικής περιοχής. Το δικό μου ενεργό DI έχει πιο ευθεία απόκριση από 400 Hz – 4 kHz αλλά μικρότερη απόκλιση ( $\pm 0.98$  dB) στο εύρος της συχνοτικής περιοχής.

### Απόκριση Φάσης (Phase Response)



Όπως βλέπουμε από τα διαγράμματα της απόκρισης φάσης το BSS AR-133 έχει πιο ευθεία απόκριση και σχεδόν μηδενική μετατόπιση φάσης από 400 Hz – 2 kHz αλλά μεγαλύτερη απόκλιση ( $78.5^\circ$ ) στο εύρος της συχνοτικής περιοχής. Το δικό μου ενεργό DI έχει πιο ευθεία απόκριση και σχεδόν μηδενική μετατόπιση φάσης από 500 Hz – 10 kHz αλλά μικρότερη απόκλιση ( $39.6^\circ$ ) στο εύρος της συχνοτικής περιοχής.

### Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion)



Όπως βλέπουμε από τα διαγράμματα της THD το BSS AR-133 έχει τη μικρότερη THD (0.005 %) από 900 Hz – 4 kHz και απόκλιση 0.075 % στο εύρος της συχνοτικής περιοχής. Ακόμα η THD ανεβαίνει και πάλι μετά τα 4 kHz. Το δικό μου ενεργό DI έχει τη μικρότερη και μάλιστα μηδενική THD (0 %) από 10.5 kHz – 20 kHz και απόκλιση 0.07 % στο εύρος της συχνοτικής περιοχής. Τέλος το BSS AR-133 όπως και το δικό μου ενεργό DI έχουν Dynamic Range 125 dB. Όπως συμπεραίνουμε από τα παραπάνω, το δικό μου

ενεργό DI είναι αρκετά καλό σε σχέση με το BSS AR-133 και μάλιστα στο Phase Response και THD είναι ελαφρώς καλύτερο, και δουλεύει πάρα πολύ καλά και χωρίς προβλήματα στην πράξη. Ακόμα το κόστος του συγκεκριμένου DI ήταν περίπου 30 € (τα υλικά και το κουτί), δηλαδή πάρα πολύ φθηνό για αυτά που προσφέρει.

Σαν τελευταίες σκέψεις θα ήθελα να αναφέρω ότι το DI είναι ένα πολύτιμο και απαραίτητο εργαλείο στον τομέα της ηχοληψίας, είτε πρόκειται για στούντιο, είτε για P.A.. Η διαδικασία της κατασκευής του αν και ήταν δύσκολη και επίπονη για μένα λόγω συνθηκών, ήταν μια πολύτιμη και σημαντική εμπειρία που επαλήθευσε τη γνωστή ρήση «άλλο η θεωρία, άλλο η πράξη». Σίγουρα στην πράξη τα πράγματα ήταν πολύ πιο δύσκολα στην κατασκευή του DI και απογοητεύτηκα αρκετές φορές μέχρι αυτό να δουλέψει σωστά. Οι δυσκολίες όμως ξεπεράστηκαν σταδιακά και μπόρεσα να ολοκληρώσω με επιτυχία την κατασκευή του. Το συγκεκριμένο DI βγήκε αρκετά καλό βάσει των χαρακτηριστικών του, δουλεύει πολύ καλά και μιας και υπάρχει, το χρησιμοποιώ ως μουσικός σε live εμφανίσεις μου.

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - WEBGRAPHY

- Δώδης Δημήτρης, «Ηχοληψία», Εκδόσεις ΙΩΝ 1991
- Nazarian Bruce, «Recording Production Techniques for Musicians», Amsco Publications 1988
- Παναγοπούλου Κατερίνα, «Ηχητική Κάλυψη Συναυλιών», Σημειώσεις του μαθήματος του Τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής του ΑΤΕΙ Κρήτης
- <http://www.astralsound.com/di-boxes.htm>
- <http://www.audiocourses.com/article651.html>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/DI\\_unit](http://en.wikipedia.org/wiki/DI_unit)
- <http://www.jdbssound.com/art/art504.htm>
- <http://www.noiz.gr/index.php?topic=166579.0>
- <http://www.soundonsound.com/sos/jun02/articles/diboxes.asp>
- <http://sound.westhost.com/project35.htm>

## **6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

### **TL O72 DATA SHEET (PDF)**

## Direct Injection Box for Recording & PA Systems

Rod Elliott (ESP)

Updated 08 Jan 2005

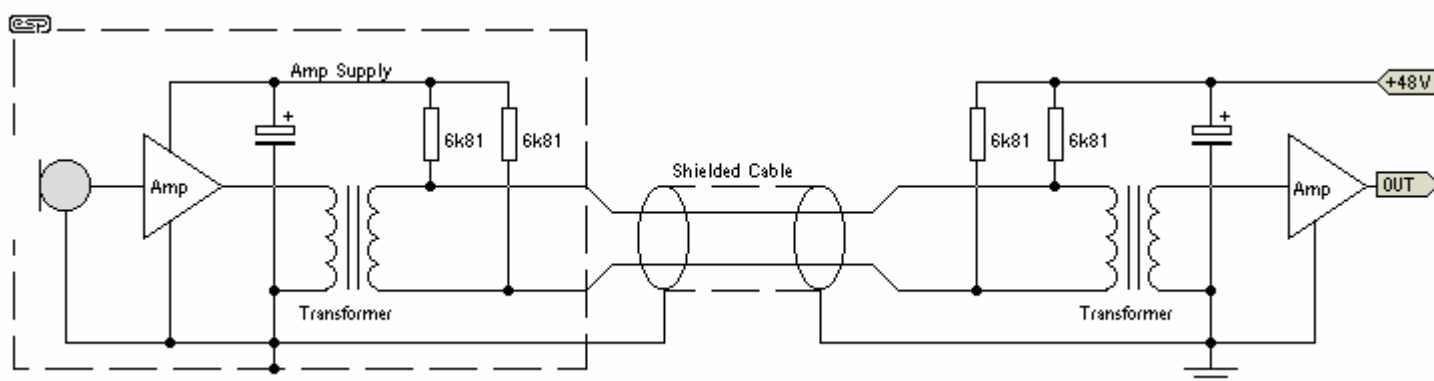
### Introduction

A Direct Injection (or DI) box is a very handy piece of equipment for any public address rig or recording studio, whether for band or general use. It will allow you to connect the output from guitar amps, keyboard mixers, tape machines and just about anything else directly to the mixer, without using a microphone, and with no hum loops.

The unit described will convert unbalanced inputs (such as from a guitar or bass amp) to balanced, allows the level to be set to something reasonable, and comes in two flavours. There is a completely passive version that uses a transformer to create the balanced send, or an active unit which can be operated from a 48V phantom feed or a couple of 9V batteries.

### Description

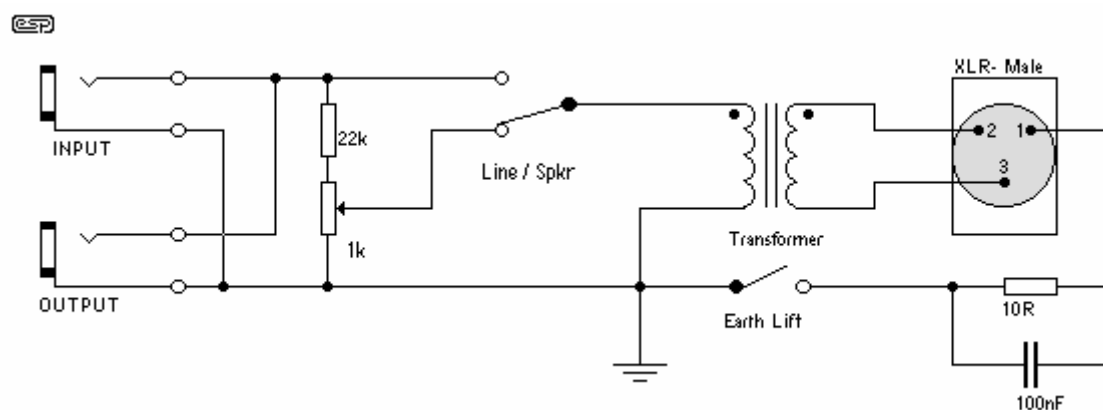
Firstly, for those who may not know about phantom feed, Figure 1 shows how it is done. The 48V supply in the mixer is connected to both signal lines, so causes no current flow in transformers since both ends of the winding are at the same DC potential. At the remote end, the current is tapped off the lines using a resistance value suitable for the electronics. Again, this is done with both signal lines to ensure that there is no DC imbalance in the circuit.



**Figure 1 - Phantom Powering**

After filtering (and in some cases regulation as well), the DC is then available to power the circuit that drives the AC signal down the very same pair that provides the power. In all cases the shield must be connected at both ends, since this provides the DC return path (hence no earth lift switch). In this example a microphone has been used, but the same concept applies to virtually anything that can function on the limited power available.

Figure 2 is the passive version of the DI Box, which is very easy to build. The only problem is that to get good sound quality, you will need a good transformer, and these are expensive. As can be seen, the input is simply two 6.5mm phone jacks to allow a speaker lead to pass through the unit. The output is a male XLR connector, and is balanced. Have a look at the Jensen Transformers (or any other audio transformer manufacturer) web site to track down a suitable unit. There are many other manufacturers, but I don't know them all. See if you can find one in your country. The transformer is 1:1 ratio, and needs to be rated for 600 ohm operation (or higher).



**Figure 2 - Passive DI Box**

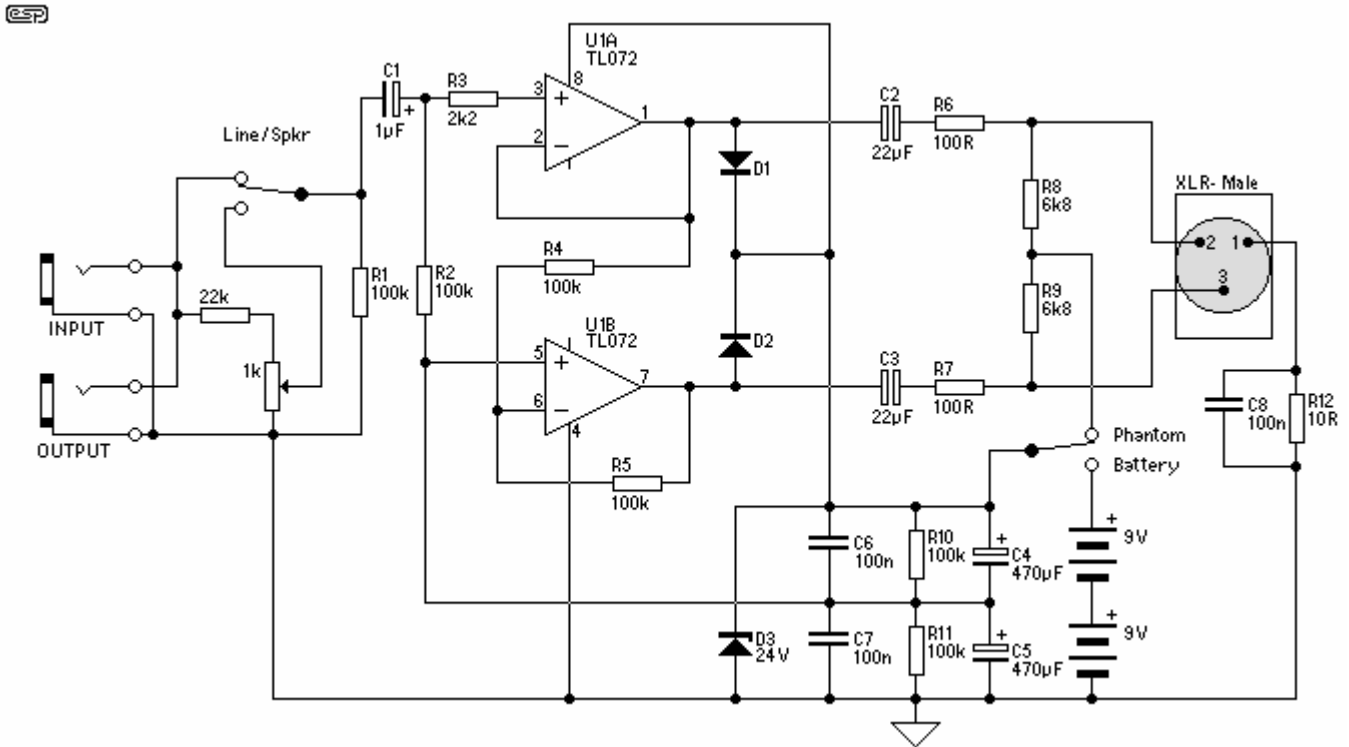
The switch selects either line or speaker level from the phone jacks, and the 1k pot allows you to set the level when using a speaker source. When using speaker input, the attenuator is variable to allow for the widely differing output levels available from amps. No "earth (ground) lift" switch is provided - these are often used to completely isolate the signal source, for those occasions where there is a hum loop created between the mixer and the stage equipment. Instead, there is an earth isolation circuit (the 10 $\Omega$  resistor and the 100nF cap), which will be more than enough except in the most extreme cases. The earth lift is only fully effective when the transformer circuit is used, and will prove worse than useless in an active unit.

The active unit uses the 48V phantom feed available in many mixers, but can be run from batteries if this is not available. To ensure that there is no unnecessary battery loading a LED has not been included.

The connections to the XLR have been shown on all the drawings, and the pin numbers are clearly marked on the connector, designations are ...

- |       |                   |
|-------|-------------------|
| Pin 1 | Earth (Ground)    |
| Pin 2 | Hot (+ve signal)  |
| Pin 3 | Cold (-ve signal) |

Note that in some cases (especially with older equipment of US origin), pin 2 is 'cold' and pin 3 is 'hot'. This connection scheme is *not recommended*, and should not be used. The above is as close to an official standard as you will find, and should be used in all cases.



**Figure 3 - Active Phantom/ Battery Powered DI Box**

An earth lift switch cannot easily be used with phantom powering without excessive complexity, and has not been included. The 10 Ohm resistor and 100nF cap will be quite sufficient in all but the most stubborn of cases.

The opamps require some degree of protection from the applied 48V when the unit is connected, and this is provided by the diodes from the opamp outputs back to the power supply. Without these it is possible to damage the opamps as the output capacitors charge. Because some degree of mucking about would normally be needed for the output capacitors to make the unit truly universal, these are specified as bipolar (non-polarised) types - standard electrolytics *must not* be used.

All resistors should ideally be 0.5W 1% metal film for lowest noise and best matching. Capacitors must be rated at 25V or more, and diodes are 1N4148 or similar. If you need as much level as you can get and don't care about a bit of distortion, then a low power opamp (such as the LM358) can be used. These draw a lot less current, so the supply voltage will be higher. This allows more signal before the opamp clips. Bear in mind that many low power opamps can supply less output current than the TL072, so you may not get any real benefit. This does not apply to the LM358 - it can supply more than enough current (and more than can be provided by the phantom power scheme).

Two versions of the active unit used to be shown here, but by using bipolar output caps the unit can be dual-purpose. When plugged into a phantom supply, make sure that the switch is in the phantom position to eliminate unnecessary battery drain. Likewise, always leave the switch in the 'Phantom' position when not in use. If you want to make the unit phantom or battery only, simply leave out the parts that you don't need. For battery only, you don't

need R8 and R9, and D3 (24V zener) can also be omitted. If the unit will only be used with phantom, then you can omit the Phantom/Battery switch and the batteries.