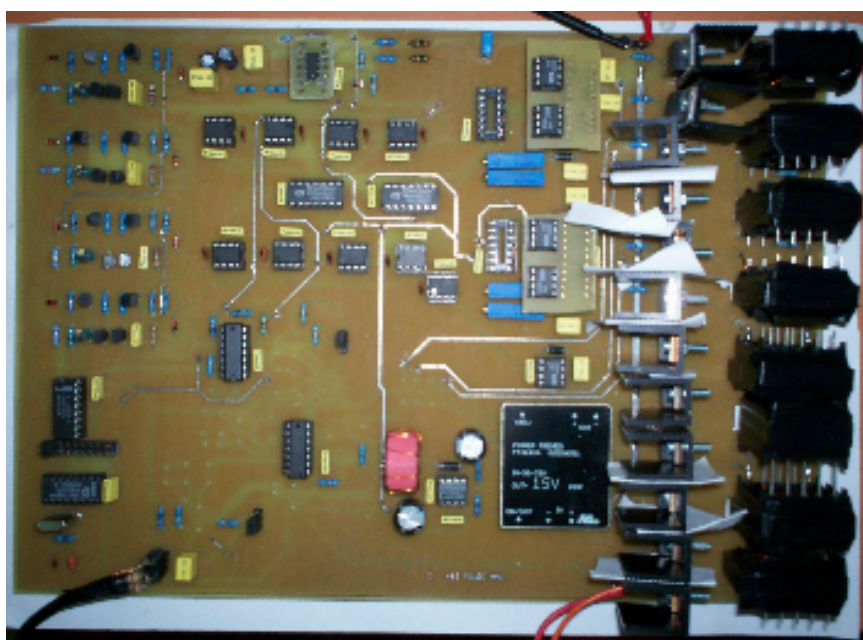




ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΗΧΟΥ ΤΑΞΗΣ D ΜΕ SPWM



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΑΤΖΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΛΑΜΠΙΡΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΚΕΦ. 1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1.1 Αντικείμενο και σκοπός της διπλωματικής εργασίας.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και κατασκευή , σε πειραματικό επίπεδο, ενός τελικού ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων με κύρια χαρακτηριστικά:

- Την υψηλή απόδοση σε ισχύ.
- Τις μικρές απαιτήσεις σε παροχή ισχύος από τροφοδοτικό.
- Τον μικρό όγκο και βάρος της συσκευής σε σχέση με αντίστοιχες του εμπορίου.

1.2 Μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας ακολουθήθηκε η εξής μεθοδολογία :

- Συγκέντρωση και μελέτη βιβλιογραφικών δεδομένων.
- Μελέτη και σχεδιασμός του ενισχυτή ήχου τάξης D βάσει συγκεκριμένων παραμέτρων.
- Κατασκευή και έλεγχος ομαλής λειτουργίας του παραπάνω συστήματος.

1.3 Συνοπτική περιγραφή και περιεχόμενα της διπλωματικής εργασίας.

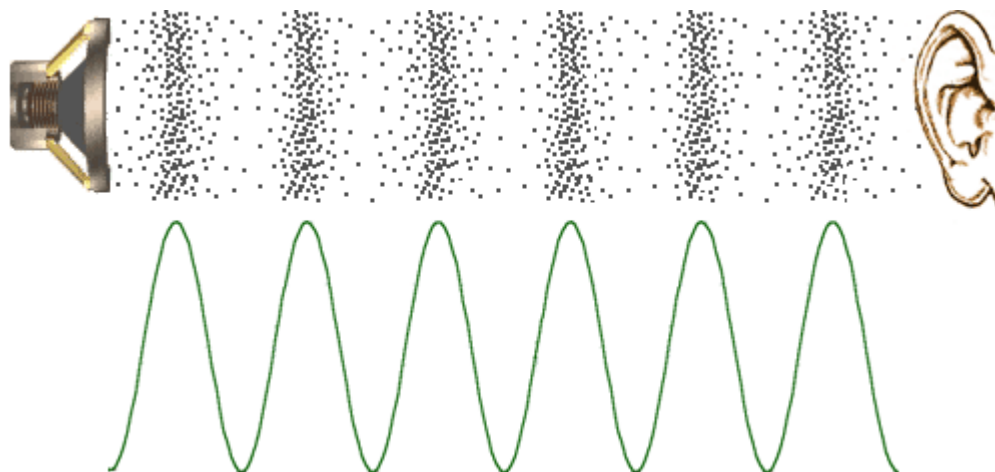
Αρχικά, για να κατανοηθεί πλήρως η εργασία αυτή, στο **δεύτερο κεφάλαιο** είναι ανάγκη να αναφερθούμε στην έννοια του ήχου, στη χρησιμότητα των ενισχυτών ακουστικών συχνοτήτων και στις εφαρμογές τους. Στο **τρίτο κεφάλαιο** θα γίνει αναφορά στη θεωρία για διάφορους τύπους ενισχυτών ήχου, στην αρχή λειτουργίας τους και τις ιδιότητες τους γενικά. Στο **τέταρτο κεφάλαιο** εξηγείται πλέον η διαδικασία κατασκευής της πειραματικής εργασίας.

ΚΕΦ. 2 Η ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

2.1 Η ακουστική τεχνολογία.

2.1.1 Τι είναι ήχος.

Αυτό που εμείς οι άνθρωποι αντιλαμβανόμαστε ως «ήχο» δεν είναι παρά μεταβολές της πίεσης του αέρα, ικανότητα την οποία απέκτησε το είδος μας (μαζί με άλλα είδη ταυτόχρονα) ώστε να μπορεί να εντάσσεται καλύτερα στο περιβάλλον του. Οι ήχοι τους οποίους ακούμε καθημερινά είναι συνήθως πολύπλοκοι γιατί αποτελούνται από πολλές διαφορετικές συχνότητες. Ο πιο απλός τρόπος παραγωγής ενός ήχου μίας μόνο συχνότητας είναι το διαπασών. Η ταλάντωση των μεταλλικών στελεχών του διαπασών με σταθερή συχνότητα μεταφέρει την παλμική κίνηση στον αέρα με τη μορφή πίεσης, δημιουργώντας ένα κύμα πίεσης. Το κύμα αυτό είναι διάμηκες και όχι εγκάρσιο, δηλαδή η ταλάντωση λαμβάνει χώρα παράλληλα στην διεύθυνση διάδοσης του κύματος και όχι κάθετα σε αυτή, όπως συμβαίνει για παράδειγμα με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και το φως. Το κύμα αυτό διαδίδεται με ταχύτητα 340 μέτρων το δευτερόλεπτο και μεταφέρει τις μεταβολές της πίεσης του αέρα. Είναι προφανές ότι χωρίς αέρα δεν νοείται πίεση και έτσι ο ήχος είναι αδύνατο να διαδοθεί στο κενό.



Εικόνα 2.1-1 : Οι μεταβολές στην πίεση του αέρα και η αντίστοιχη κυματομορφή ήχου.

Σταδιακά ο άνθρωπος απέκτησε την ικανότητα να αντιλαμβάνεται τις μεταβολές αυτές της πίεσης και να αποκωδικοποιεί το περιεχόμενό τους, μέσω των αυτιών. Το σχήμα των αυτιών είναι εκπληκτικό: η τοποθέτηση του πτερυγίου επιτρέπει την διάκριση των ήχων που έρχονται από το μπροστινό μέρος που βρίσκεται ο άνθρωπος από αυτούς που έρχονται από πίσω, ενώ σε συνδυασμό με τον υπόλοιπο λοβό δημιουργείται ένας από τους καλύτερους ενισχυτές που υπάρχουν. Επίσης, ο ανθρώπινος εγκέφαλος έχει την ικανότητα να συγκρίνει την χρονική διαφορά με την οποία ένας ήχος φτάνει στο κάθε αυτί, οπότε και να συμπεράνει την απόσταση από την οποία προέρχεται. Αυτή ήταν μία από τις σημαντικότερες άμυνες του ανθρώπου απέναντι στους κυνηγούς του, γι' αυτό και από πολύ νωρίς εξελίχθηκαν δύο αυτιά και όχι μόνο ένα. Το ανθρώπινο αυτί μπορεί να αντιληφθεί ήχους από 20Hz περίπου μέχρι και 20kHz. Οι ήχοι υψηλότερων συχνοτήτων δεν γίνονται αντιληπτοί και ονομάζονται υπέρηχοι.

Η φωνητικές χορδές επιτελούν την ακριβώς αντίστροφη διαδικασία. Πάλλονται με πολύ συγκεκριμένο τρόπο κατά το πρότυπο του διαπασών ώστε να παραχθούν ανάλογοι ήχοι διαφορετικών συχνοτήτων, ώστε με την κατάλληλη εξάσκηση αποκτάται η ικανότητα της ομιλίας.

2.1.2 Ακουστική

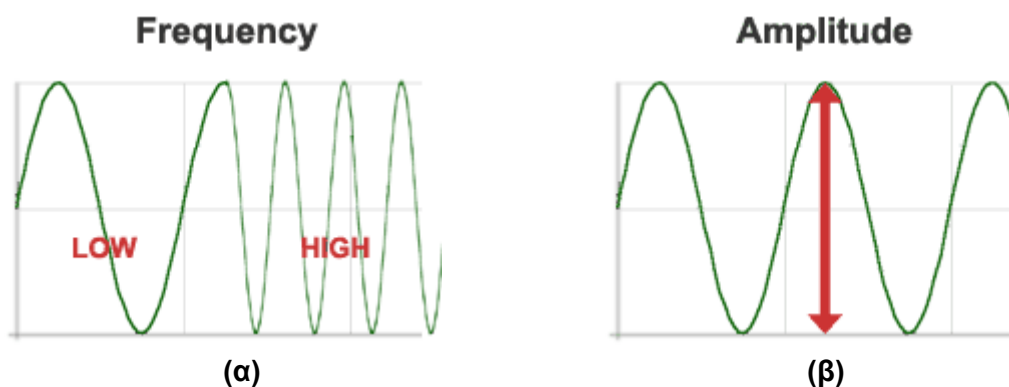
Ακουστική είναι η επιστήμη της συμπεριφοράς των ηχητικών κυμάτων . Μελετά την παραγωγή , διάδοση , και λήψη των εν λόγω κυμάτων από το ανθρώπινο αυτί . Είναι επίσης η επιστήμη που ασχολείται επισταμένως με όλα γενικά τα μηχανικά κύματα , τα οποία εκτείνονται πέρα από το ακουστικό φάσμα του ανθρώπινου αυτιού και ως εκ τούτου δεν γίνονται αντιληπτά .

Τέτοια κύματα είναι :

- α) **τα χαμηλής συχνότητας** κύματα που παράγονται από τους σεισμούς (υποηχητικά κύματα) και
- β) **τα υψηλής συχνότητας** ή υπερηχητικά κύματα καθώς και οι υψίσυχνες ταλαντώσεις των ατόμων στα στερεά σώματα .

Η Ακουστική είναι εξαιρετικά σημαντική

- α) στο λόγο και στην ακρόαση (ραδιοφωνικά studios , θεατρικές αίθουσες , συνεδριακούς χώρους)και



Εικόνα 2.1-2 : α) Χαμηλή και υψηλή συχνότητα σε ηχητικό κύμα. β) Το πλάτος κύματος ήχου.

β) στην μουσική (παραγωγή και ακρόαση) σε studios ηχογράφησης και αίθουσες συναυλιών.

Χώροι σαν τους προαναφερθέντες , κατασκευασμένοι χωρίς να έχουν προηγηθεί μελέτες που αφορούν την ακουστική κλειστών χώρων , είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα δημιουργήσουν απaráδεκτες συνθήκες ακρόασης με αποτέλεσμα ένα δυσάρεστο ακουστικό συναίσθημα στο ακροατήριο. Μερικά από τα προβλήματα που δημιουργούνται είναι ηχώ, στάσιμα κύματα , τυχαίες ανακλάσεις των ηχητικών κυμάτων , χρωματισμός του ήχου που οφείλεται σε ανεπιθύμητους συντονισμούς στην αίθουσα κ.ά..

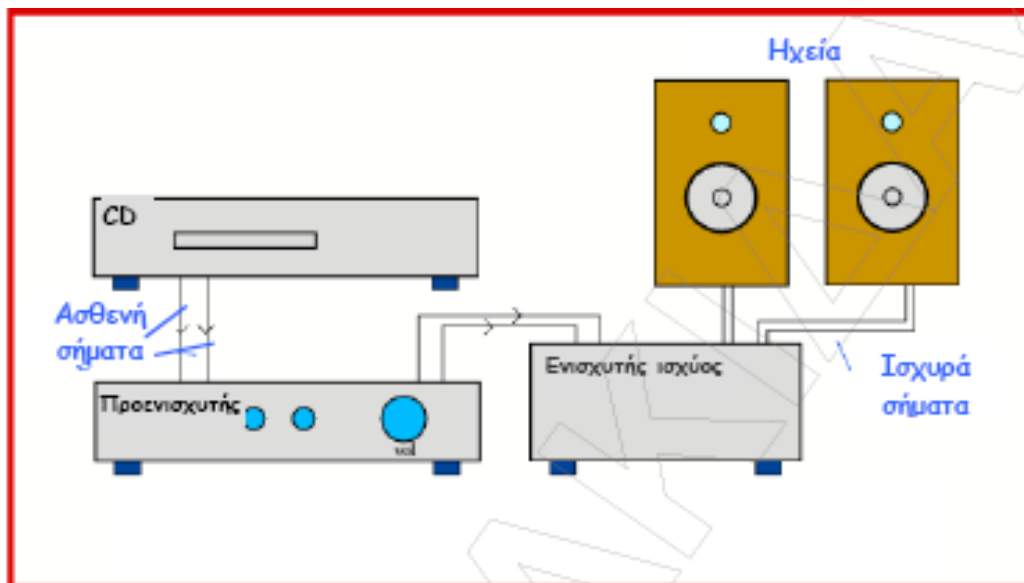
2.2 Συστήματα ήχου.

Στην εικόνα 2.2-1 βλέπουμε ένα βασικό ηχητικό σύστημα το οποίο απαρτίζεται από:

- Την πηγή (CD player)
- Τον προενισχυτή
- Τον τελικό ενισχυτή (ισχύος)
- Τα ηχεία
- Τις γραμμές μεταφοράς (καλώδια)

2.2.1 Πηγές σήματος ήχου.

Στην περίπτωση της εικόνας 2.2-1 πρόκειται για μια συσκευή αναπαραγωγής ψηφιακών δίσκων (cd). Στη θέση αυτής θα μπορούσε να είναι κάποια άλλη



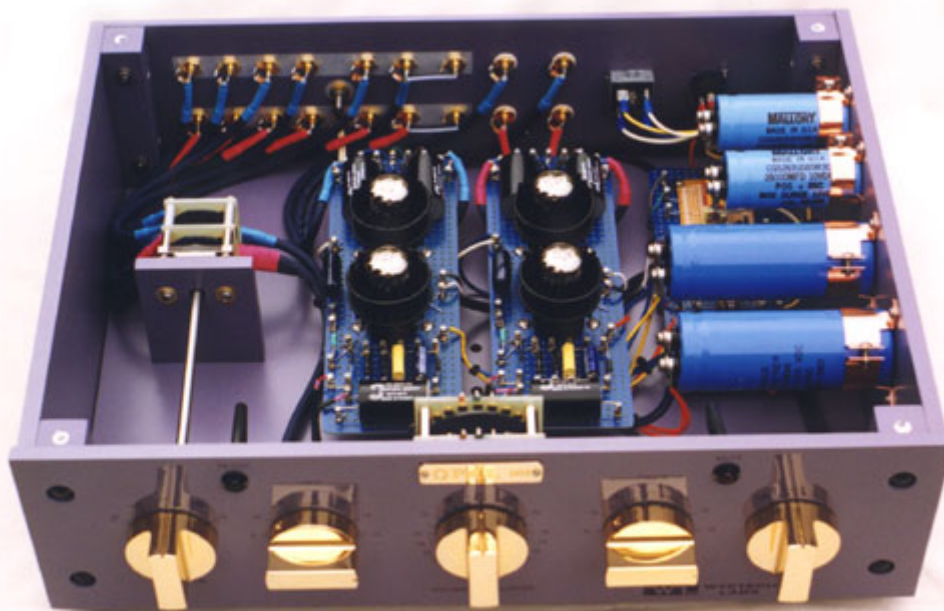
Εικόνα 2.2-1 : Πλήρες σύστημα ήχου hi-fi

συσκευή όπως ένα μικρόφωνο ή η έξοδος ήχου χαμηλής στάθμης (audio line-out) ενός DVD-player ή η ίδια έξοδος ενός δορυφορικού δέκτη κα.. Η στάθμη του ήχου στην έξοδο των προαναφερθέντων συσκευών, πλην του μικροφώνου, κυμαίνεται στην περιοχή των 100 millivolt ενώ η ισχύς του σήματος αυτού είναι της τάξης των milliwatt. Επειδή τα σήματα αυτά είναι χαμηλής ισχύος λέγονται και ασθενή σήματα. Ένα κοινό μικρόφωνο, όχι πυκνωτικό, παρέχει στάθμη εξόδου ακόμα χαμηλότερη περίπου 1 millivolt ενώ έχει και σημαντικά μικρότερη αντίσταση εξόδου, της τάξης του $1K\Omega$

2.2.2 Προενισχυτής (preamplifier).

Είναι η συσκευή που αναλαμβάνει να φέρει το σήμα από την εκάστοτε πηγή σε επίπεδο τέτοιο ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί αξιόπιστα από τον τελικό ενισχυτή. Η πηγή, εκτός του ότι δίνει ένα ασθενές σήμα, η αντίσταση εξόδου της απέχει πολύ από την τιμή της αντίστασης εισόδου του τελικού ενισχυτή, πράγμα που απαγορεύει την απ' ευθείας σύνδεση των συσκευών αυτών. Εκτός όμως από την προσαρμογή της αντίστασης εισόδου-εξόδου, ο προενισχυτής έχει κύριο σκοπό τον έλεγχο της έντασης του ήχου που θα ακούγεται τελικά από τα ηχεία, μιας και ο τελικός ενισχυτής κατά κανόνα δεν διαθέτει τέτοια λειτουργία ή αν διαθέτει δεν θα είναι ίσως εύκολα προσβάσιμη αν αυτός βρίσκεται μακριά από τις υπόλοιπες συσκευές του συστήματος

(επαγγελματικά συστήματα). Είναι πολύ πιθανό, εκτός από τα παραπάνω, ο προενισχυτής να διαθέτει συστήματα επεξεργασίας και βελτίωσης του ήχου. Ένα από αυτά είναι ο γραφικός ισοσταθμιστής (graphic equalizer). Αυτός



Εικόνα 2.2-2: Το εσωτερικό ενός προενισχυτή και η μπροστά όψη. Στο κέντρο φαίνεται το ρυθμιστικό της έντασης και αριστερά ο επιλογέας της πηγής.

διαθέτει φίλτρα που επιτρέπουν στο χρήστη να ρυθμίσει χωριστά την ενίσχυση σε περιοχές ακουστικών συχνοτήτων (bands). Οι περισσότεροι προενισχυτές διαθέτουν επιλογή ενίσχυσης χαμηλών συχνοτήτων (bass) και υψηλών συχνοτήτων (treble). Τέλος, ένας προενισχυτής διαθέτει επιλογή για την ενεργοποίηση της επιθυμητής συσκευής αναπαραγωγής ή παραγωγής (αν πρόκειται για μικρόφωνο) ήχου, αφού κάθε μια από αυτές διαθέτει διαφορετική αντίσταση εξόδου και πρέπει να συνδεθεί στην αντίστοιχη, κατάλληλη για αυτή, είσοδο του προενισχυτή. Ιδιομορφία παρουσιάζει ο προενισχυτής τύπου μίκτη (sound mixer). Σε αυτόν, αντί για τον επιλογέα της πηγής, υπάρχουν ποτενσιόμετρα κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μια πηγή που είναι συνδεδεμένη στον μίκτη. Από τα ποτενσιόμετρα αυτά ορίζεται το κατά πόσο συμβάλει η κάθε πηγή στο αποτέλεσμα στην έξοδο. Οι μίκτες χρησιμοποιούνται συνήθως για επαγγελματικές εφαρμογές όπως σε studios, ραδιοφωνικούς σταθμούς, συναυλίες κα..



Εικόνα 2.2-3: Προενισχυτής τύπου μίκτη (sound mixer).

2.2.3 Τελικός ενισχυτής ισχύος (power amplifier).

Ρόλος του είναι να ενισχύσει το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό σήμα του ήχου που δέχεται στην είσοδό του, χωρίς όμως να το αλλοιώσει. Η ενίσχυση αυτή είναι απαραίτητη γιατί το ασθενές σήμα δεν είναι ικανό να διεγείρει το ηχείο. Από

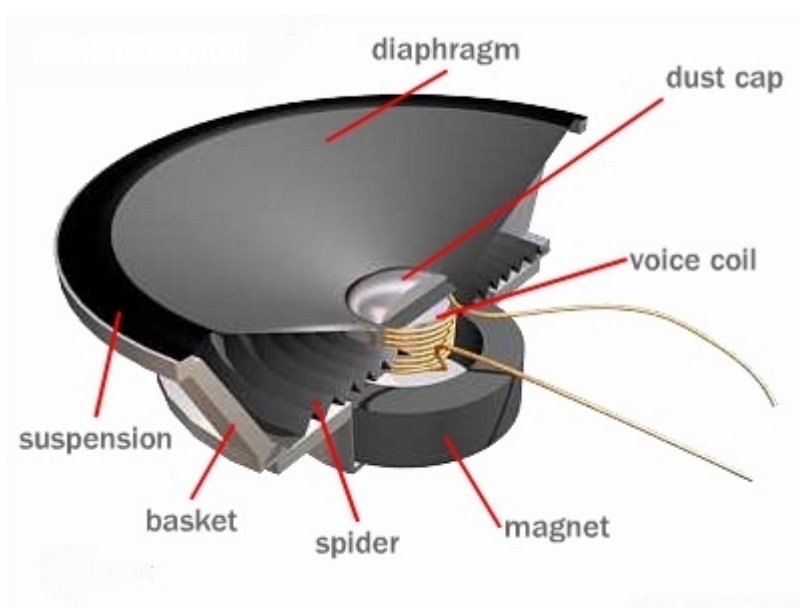


Εικόνα 2.2-4: Τελικός ενισχυτής ισχύος.

το πόσο «δυνατός» είναι ο τελικός ενισχυτής εξαρτάται και το πόσο δυνατά θα ακούμε τον ήχο. Ακόμα, όσο πιο ισχυρός είναι, τόσο μεγαλώνουν οι διαστάσεις του, το βάρος του αλλά και οι απαιτήσεις του σε ισχύ. Έτσι, ανάλογα με την εφαρμογή, συναντάμε ενισχυτές ισχύος διαφόρων μεγεθών.

Οι περισσότεροι οικιακοί ενισχυτές ήχου ενσωματώνουν στην ίδια συσκευή προενισχυτή και τελικό ενισχυτή. Οι ενισχυτές αυτοί ονομάζονται **ολοκληρωμένοι ενισχυτές**.

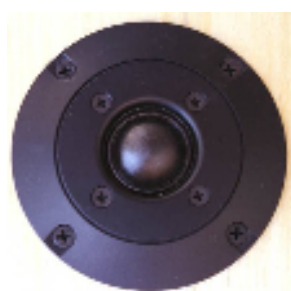
2.2.4 Μεγάφωνα και ηχεία.



Εικόνα 2.2-5: Τα μέρη και το εσωτερικό σε ένα τυπικό μεγάφωνο.



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 2.2-6 : Μεγάφωνα. α) Μεγάφωνο τύπου woofer β) tweeter γ) κέρα υψηλών συχνοτήτων.

Το μεγάφωνο είναι μια ηλεκτρομηχανική διάταξη της οποίας σκοπός είναι να μετατρέψει το ηλεκτρικό σήμα που έρχεται από τον ενισχυτή σε ωστικά κύματα του αέρα, τα οποία το αυτί μας αντιλαμβάνεται σαν ήχο (βλ. εικόνα 2.2-5). Όταν το ρεύμα του ενισχυτή ρέει μέσα στο πηνίο φωνής (voice coil), αυτό παράγει ένα μαγνητικό πεδίο που αλληλεπιδρά με αυτό του μόνιμου μαγνήτη (magnet). Έτσι υποχρεώνεται το πηνίο σε κίνηση μαζί με τον κώνο, ή διάφραγμα (diaphragm), αφού τα δυο αυτά είναι σταθερά ενωμένα μεταξύ τους. Το πόσο θα μετατοπιστεί ο κώνος και σε ποια κατεύθυνση εξαρτάται από την ένταση και την πολικότητα, αντίστοιχα, του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο.

Ένα μεγάφωνο δεν μπορεί να αναπαράγει όλες τις ακουστικές συχνότητες το ίδιο αξιόπιστα. Κάθε ένα από αυτά χαρακτηρίζεται από μια καμπύλη απόκρισης συχνοτήτων, η οποία βρίσκεται μέσα στο ακουστικό φάσμα αλλά δεν δείχνει την ίδια απόδοση για όλο αυτό φάσμα. Έτσι έχουμε μεγάφωνα χαμηλών συχνοτήτων (woofer), μεσαίων συχνοτήτων (midrange), υψηλών συχνοτήτων (tweeter) και τις παραλλαγές τους (βλ. εικόνα 2.2-6). Συνήθως, τα μεγάφωνα στηρίζονται σε κλειστά κουτιά τα οποία φιλοξενούν δύο, τρεις ή περισσότερους τύπους μεγάλων (δυο, τριών κλπ. δρόμων), ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερο ακουστικό αποτέλεσμα. Τα κουτιά αυτά ονομάζονται **ηχεία** και τα βρίσκουμε σε διάφορα μεγέθη ανάλογα με τη χρήση τους.



Εικόνα 2.2-7 : Ηχείο δύο δρόμων (μπροστά και πίσω όψη)

2.2.5 Γραμμές μεταφοράς



Εικόνα 2.2-8 : Το εσωτερικό καλωδίου ασθενών σημάτων.

Τα ασθενή σήματα του ήχου είναι πολύ ευαίσθητα στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και γενικότερα στο θόρυβο. Τα καλώδια που μεταφέρουν αυτά τα σήματα είναι ομοαξονικά, καμιά φορά με διπλή θωράκιση, ενώ σαν κατασκευές είναι πολύ εύκαμπτα.



Εικόνα 2.2-9 : Καλώδια ασθενών σημάτων με βύσματα τύπου RCA.

Οι τελικοί ενισχυτές παρέχουν αρκετό ρεύμα στα ηχεία που συνήθως βρίσκονται αρκετά μέτρα μακριά του. Πρέπει λοιπόν τα καλώδια που μεταφέρουν τα ισχυρά σήματα να είναι μεγάλης διατομής και από εξαιρετικά αγωγίμο υλικό, ώστε η αντίστασή τους να μειωθεί στο ελάχιστο και μαζί με αυτήν οι απώλειες στα καλώδια.

Εξίσου σημαντικά για μια καλή ποιότητα στον ήχο είναι τα σημεία σύνδεσης των καλωδίων. Αυτά είναι κατασκευασμένα από υλικά που εκτός του ότι έχουν πολύ μικρή αντίσταση, είναι ανθεκτικά στην υγρασία και στις συνέπειες από την πάροδο του χρόνου. Επίσης, αντέχουν στις καταπονήσεις από τριβές

όταν συνδέουμε και αποσυνδέουμε καλώδια. Έτσι πολύ συνηθισμένα είναι τα επίχρυσα βύσματα και ακροδέκτες.



Εικόνα 2.2-10 : Καλώδια χαλκού ισχυρών σημάτων.

2.3 Ενισχυτές ήχου.

2.3.1 Τι είναι ενισχυτής ήχου.

Η διάταξη, που στην είσοδό της δέχεται ένα σήμα ακουστικής συχνότητας (20Hz έως 20KHz) και στην έξοδό της παρέχει ένα άλλο σήμα με πολύ μεγαλύτερο κατ' αρχήν πλάτος και ίδια ή ανάλογα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του προς το σήμα εισόδου, ονομάζεται **ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων ή ενισχυτής ήχου (audio amplifier)**.

Αυτό το καταφέρνει με το να πάρει ισχύ από ένα τροφοδοτικό και να ελέγξει την έξοδό του ώστε αυτή να ταιριάζει με την είσοδο. Το «πλάτος» που αναφέρεται στον παραπάνω ορισμό παραπέμπει ίσως στο μέγεθος «τάση». Άρα είναι λογικό να θεωρήσει κανείς ότι οι ενισχυτές ήχου είναι αποκλειστικά ενισχυτές τάσης. Λοιπόν, αυτό δεν ισχύει, τουλάχιστον για την κατηγορία των τελικών ενισχυτών, στην οποία κατατάσσεται και ο ενισχυτής ήχου της παρούσας κατασκευής. Οι τελικοί ενισχυτές ήχου μπορούν κατά κανόνα να δώσουν ένα μέτριο μόνο κέρδος τάσης αλλά σημαντικό κέρδος ρεύματος. Αυτός είναι ο λόγος που οι τελικοί ενισχυτές ήχου ανήκουν στην κατηγορία των **ενισχυτών ισχύος**.

2.3.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη ενισχυτών.

Οι ενισχυτές ισχύος χαρακτηρίζονται από κάποια μεγέθη, σύμφωνα με τα οποία εμείς μπορούμε να αντιληφθούμε την ποιότητα και την εφαρμογή του κάθε ενός ενισχυτή. Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι τα παρακάτω:

Μέγιστη ισχύς εξόδου (Total Output Power): Όπως καταλαβαίνουμε από το όνομα, πρόκειται για την μέγιστη ισχύ που μπορεί να δώσει στην έξοδό του ένας ενισχυτής. Στην πραγματικότητα μιλάμε για το ρεύμα που είναι σε θέση να δώσει ο ενισχυτής πάνω σε συγκεκριμένο φορτίο, χωρίς αυτός να κινδυνεύει από υπερθέρμανση. Γι' αυτό, σχεδόν πάντα, η ισχύς δίδεται για ηχείο δεδομένης αντίστασης. Π.χ. στον ίδιο ενισχυτή θα δούμε να αναγράφεται:

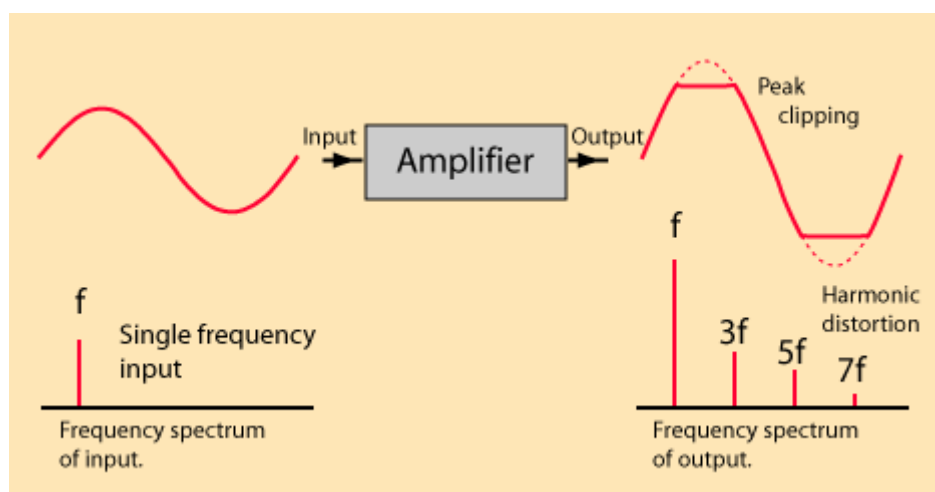
$$100\text{W} / 8\Omega$$

$$180\text{W} / 4\Omega$$

Αυτό σημαίνει ότι ο συγκεκριμένος ενισχυτής μπορεί να δουλέψει με ηχείο αντίστασης 8 Ohm ή 4 Ohm. Στην πρώτη περίπτωση η μέγιστη ισχύς εξόδου του είναι 100 Watt ενώ στη δεύτερη ανέρχεται στα 180 Watt. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι προκειμένου να πετύχουμε περισσότερη ισχύ μπορούμε να συνδέσουμε ηχείο χαμηλότερης αντίστασης από 4 Ohm, διότι αυτό θα μπορούσε να προκαλέσει επικίνδυνη αύξηση της θερμοκρασίας του ενισχυτή και ενδεχομένως την καταστροφή του.

Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion ή THD): Όταν ενισχύεται ένα σήμα, θα πρέπει να προσέχουμε ώστε η πληροφορία που περιέχεται σε αυτό να μην μεταβάλλεται αλλά και καμία καινούρια πληροφορία να μην προστίθεται. Όταν τροφοδοτούμε ένα σήμα σε έναν ενισχυτή, θέλουμε το σήμα στην έξοδο του ενισχυτή να είναι ακριβές αντίγραφο αυτού της εισόδου έχοντας φυσικά μεγαλύτερο πλάτος. Με άλλα λόγια, θέλουμε οι διακυμάνσεις της κυματομορφής εξόδου να είναι ταυτόσημες με αυτές της κυματομορφής εισόδου. Κάθε αλλαγή στην κυματομορφή θεωρείται παραμόρφωση και είναι προφανώς ανεπιθύμητη. Η THD είναι μία έκφραση του κατά πόσο έχει παραμορφωθεί το σήμα εισόδου στην έξοδο του ενισχυτή, λόγω της εισαγωγής ανεπιθύμητων συχνοτήτων που είναι πολλαπλάσια της βασικής συχνότητας (βλ. εικόνα 2.3-1). Στην εικόνα φαίνεται καταρχήν ένα καθαρό ημίτονο το οποίο στην έξοδο έχει

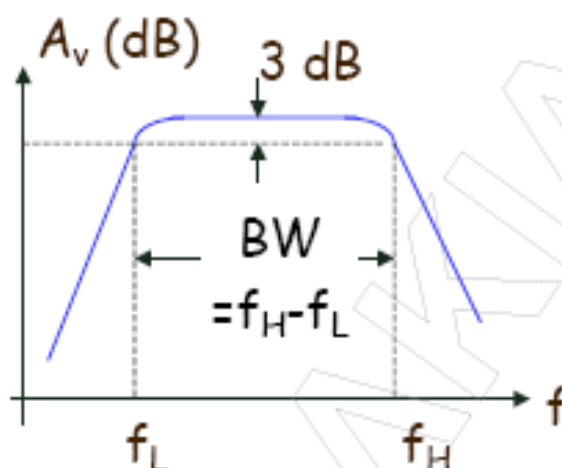
υποστεί ψαλιδισμό, λόγω μη γραμμικότητας των στοιχείων του ενισχυτή. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργηθούν περιττές αρμονικές συχνότητες, μιας και το σήμα εξόδου μοιάζει περισσότερο με τετραγωνικό παλμό παρά με ημίτονο.



Εικόνα 2.3-1: Η συχνότητα ενισχύεται αλλά παράγονται αρμονικές.

Η THD μετριέται σε ποσοστό επί τοις εκατό ενώ για ένα ενισχυτή hi-fi έχει τιμή πολύ μικρότερη του 1%. Ένας ιδανικός ενισχυτής έχει THD=0%.

Απόκριση συχνοτήτων (Frequency Response): Δείχνει το κατά πόσο ο ενισχυτής είναι ικανός να ενισχύσει το ίδιο όλες τις συχνότητες του ακουστικού φάσματος. Συνήθως τη συναντάμε σαν μία καμπύλη, όπου στον οριζόντιο άξονα υπάρχει η συχνότητα και στον κάθετο η ενίσχυση. Στην ιδανική περίπτωση η καμπύλη αυτή πρέπει να είναι επίπεδη για την περιοχή 5Hz έως 25KHz. Στην πραγματικότητα όμως το εύρος συχνοτήτων (Bandwidth) για το οποίο θεωρούμε ότι η ενίσχυση είναι σταθερή βρίσκεται μεταξύ των τομών της χαρακτηριστικής για απολαβή ίση με το 0,707 της μέγιστης ή $A_{max}-3dB$ (βλ. σχήμα 2.3-2).



Εικόνα 2.3-2:

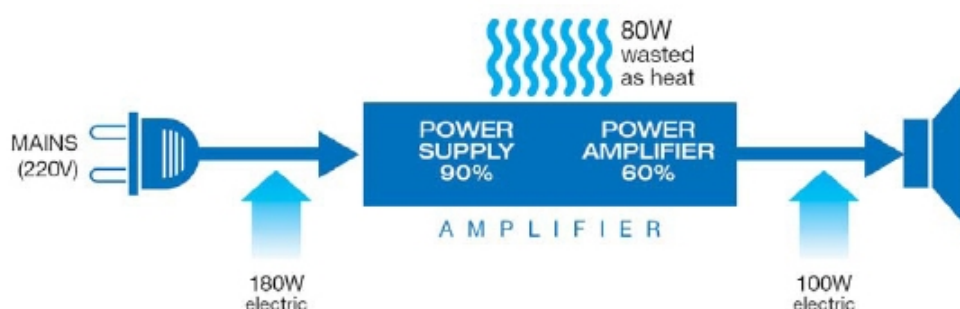
Καμπύλη απόκρισης συχνοτήτων.

f_H : Ανώτερη συχνότητα αποκοπής.

f_L : Κατώτερη συχνότητα αποκοπής.

Ευαισθησία εισόδου (Input Sensitivity): Η στάθμη του σήματος που απαιτείται στην είσοδο του ενισχυτή ώστε αυτός να αναπτύξει πλήρη ισχύ στην έξοδό του. Αυτό εξαρτάται από την απολαβή (gain) και την ολική ισχύ του ενισχυτή. Για παράδειγμα, ένας ενισχυτής 10W χρειάζεται να έχει πολύ μικρότερη ενίσχυση από έναν ενισχυτή 200W για να δώσει τη μέγιστη ισχύ του, υπό το ίδιο σήμα εισόδου. Θα ήταν χρήσιμο αν όλοι οι ενισχυτές είχαν την ίδια ενίσχυση ανεξάρτητα από την ισχύ τους αλλά δυστυχώς αυτό δεν συμβαίνει. Γι' αυτό η ευαισθησία εισόδου ποικίλει ευρέως από 0,5 έως 1,5 volt ή περισσότερο.

Απόδοση ισχύος (power efficiency): Ορίζεται σαν το λόγο της ηλεκτρικής ισχύος που παρέχεται στο ηχείο από τον ενισχυτή προς την ισχύ που απορροφά ο ενισχυτής από το τροφοδοτικό (%). Είναι ίσως η πιο σημαντική παράμετρος ενός ενισχυτή αφού, όπως θα δούμε παρακάτω, προδίδει το πόσο δαπανηρός είναι αυτός σε κατανάλωση ισχύος αλλά και σε αρχικό κόστος.



Εικόνα 2.3-3: Παράδειγμα καταμερισμού θερμικών απωλειών σε ένα τυπικό ενισχυτή.

Στο παράδειγμα της παραπάνω εικόνας για να τροφοδοτήσουμε το μεγάφωνο με 100 ηλεκτρικά βατ πρέπει να καταναλωθούν εξ' αρχής 180 βατ! Αυτό οφείλεται στον βαθμό απόδοσης του ενισχυτή (60%) σε συνδυασμό με τον βαθμό απόδοσης του τροφοδοτικού του (90%). Ποιες είναι όμως οι συνέπειες από τον χαμηλό αυτό βαθμό απόδοσης; Αν τα πάρουμε από την αρχή, βλέπουμε ότι επιβαρύνεται άσκοπα το δίκτυο ηλεκτροδότησης με δυσάρεστα για την τσέπη μας αποτελέσματα, ειδικά όταν έχουμε να κάνουμε με συναυλιακούς χώρους όπου η συνολική ισχύς των τελικών ενισχυτών ανέρχεται σε χιλιάδες βατ! Εκτός από αυτό, είναι ανάγκη να χρησιμοποιηθούν ογκώδη τροφοδοτικά. Ειδικότερα, πρόκειται για μεγάλους, βαριούς

μετασχηματιστές και μεγάλης χωρητικότητας ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές, πράγμα που σημαίνει την κατακόρυφη αύξηση του ολικού κόστους κατασκευής αλλά και την ανάγκη για μεγάλα κουτιά που θα φιλοξενήσουν τα παραπάνω. Στα δύο παραπάνω, κόστος και όγκο, συμβάλουν κατά πολύ οι ογκώδεις ψήκτρες, απαραίτητες για την απαγωγή της θερμότητας από τα εξαρτήματα του ενισχυτή. Στην ψύξη βέβαια συμβάλλουν και ανεμιστήρες που συνήθως είναι θορυβώδεις κατά την λειτουργία τους.

ΚΕΦ. 3 ΤΑΞΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ

3.1 Εισαγωγή

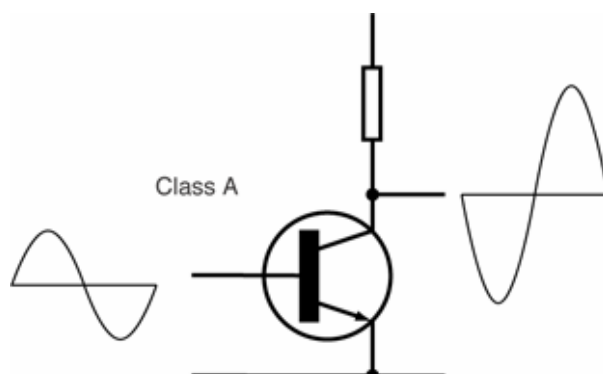
Πολύ σημαντική είναι η ταξινόμηση των ενισχυτών σε σχέση με την τάξη λειτουργίας τους. Όπως θα δούμε παρακάτω, η τάξη λειτουργίας στην οποία δουλεύει ένας ενισχυτής μας δίνει αμέσως πολλές πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά του. Γι' αυτό άλλωστε είναι το πρώτο χαρακτηριστικό που διαβάζουμε στην περιγραφή ενός ενισχυτή.

Τα κυκλώματα ενισχυτών ισχύος (βαθμίδες εξόδου) ταξινομούνται ως : A, B, AB και C για τους αναλογικούς ενισχυτές και D και E για τους ενισχυτές switching. Η ταξινόμηση γίνεται με βάση την γωνία αγωγής θ του σήματος εξόδου μέσω της ενισχυτικής βαθμίδας που είναι το μέρος του κύκλου του σήματος εισόδου κατά τη διάρκεια του οποίου αυτή είναι σε αγωγή. Η εικόνα της γωνίας αγωγής βγαίνει εφαρμόζοντας ένα ημιτονοειδές σήμα. Αν η ενισχυτική διάταξη είναι συνεχώς σε αγωγή τότε $\theta=360^\circ$. Η γωνία αγωγής σχετίζεται άμεσα με την απόδοση ισχύος ενός ενισχυτή. Οι διάφορες τάξεις λειτουργίας παρουσιάζονται λεπτομερέστερα παρακάτω.

3.2 Η τάξη A

Οι ενισχυτικές διατάξεις τάξης A λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου εισόδου έτσι ώστε το σήμα εξόδου να είναι ένα ακριβές αντίγραφο της εισόδου χωρίς παραμόρφωση. Τάξης A είναι συνήθως οι ενισχυτές μικρών σημάτων. Σημαντικό μειονέκτημα αυτών είναι η χαμηλή απόδοση ισχύος. Μια απόδοση της τάξης του 50% είναι εφικτή με επαγωγική σύζευξη στην έξοδο ενώ μόνο 25% με χωρητική σύζευξη. Σε ένα κύκλωμα τάξης A το στοιχείο ενίσχυσης πολώνεται με τρόπο ώστε η συσκευή να άγει συνεχώς. Η συσκευή βρίσκεται συνεχώς σε κατάσταση αγωγής ακόμα και όταν δεν υπάρχει καθόλου είσοδος με αποτέλεσμα να καταναλώνει συνεχώς ισχύ από το τροφοδοτικό. Αυτός είναι και ο λόγος της πολύ χαμηλής του απόδοσης. Αν απαιτηθεί μεγάλη ισχύς στην έξοδο του ενισχυτή η κατανάλωση ισχύος θα είναι πολύ σημαντική. Για κάθε ένα watt που πηγαίνει στο φορτίο (μεγάφωνο), ο ίδιος ο ενισχυτής καταναλώνει στην καλύτερη περίπτωση άλλο ένα! Η κατανάλωση σε ισχύ

είναι ανεξάρτητη της ισχύος στην έξοδο. Σε κατάσταση ηρεμίας η κατανάλωση είναι περίπου η ίδια

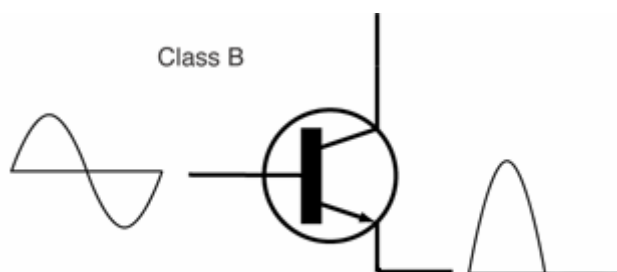


Εικόνα 3.2-1: Η τάξη A

με αυτή σε πλήρη ένταση ήχου! Για μεγάλες κατασκευές αυτό σημαίνει ακριβά και ογκώδη τροφοδοτικά και ψήκτρες.

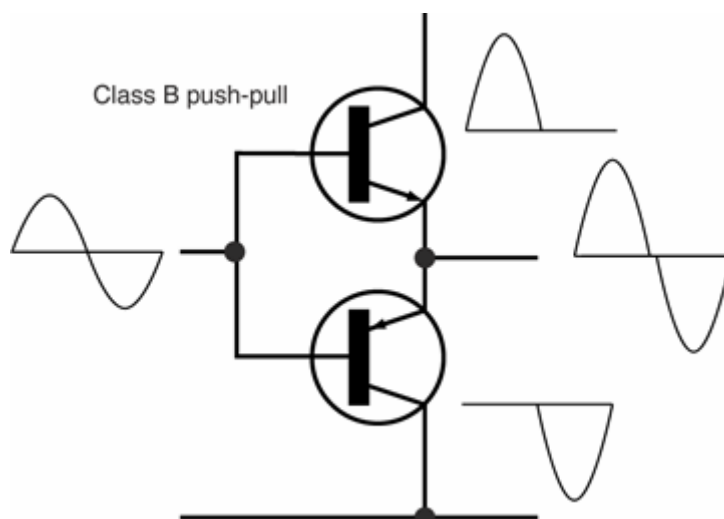
Οι ενισχυτές τάξης A συνήθως χρησιμοποιούνται σε χαμηλής έως μέσης ισχύος ενισχυτές ήχου οι οποίοι όμως κοστίζουν πολύ και έχουν χαμηλή απόδοση. Υπάρχουν βέβαια και οι λάτρες αυτών των κατασκευών που υποστηρίζουν ότι η τάξη A χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη πιστότητα και πολύ μικρή παραμόρφωση. Χάριν λοιπόν της ποιότητας του ήχου δεν τους πειράζει να δώσουν κάτι παραπάνω και να θυσιάσουν αρκετό χώρο στο ράφι τους για να φιλοξενήσουν μια τέτοια κατασκευή.

3.3 Τάξη B και AB



Εικόνα 3.3-1: Η τάξη B

Οι ενισχυτές τάξης B ενισχύουν μόνο το μισό κύκλο του σήματος εισόδου και αποκόπτουν το άλλο μισό. Έτσι παράγουν πάρα πολύ παραμόρφωση αλλά η απόδοση ισχύος τους είναι κατά πολύ βελτιωμένη από αυτήν της τάξης A. Η τάξη B έχει μια μέγιστη θεωρητική απόδοση περίπου 78.5%. Αυτό συμβαίνει γιατί το στοιχείο ενίσχυσης δεν άγει και τελικά «σβήνει» κατά το μισό χρόνο. Έτσι δεν καταναλώνει ενέργεια.

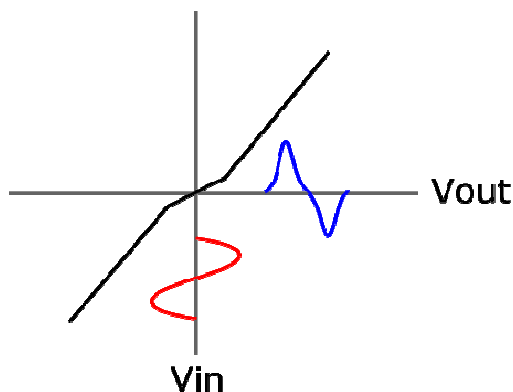


Εικόνα 3.3-2: Ενισχυτής Push-Pull τάξης B

Ένα πρακτικό κύκλωμα που χρησιμοποιεί στοιχεία τάξης B είναι το συμπληρωματικό ζεύγος σε διάταξη push-pull. Εδώ δύο συμπληρωματικά στοιχεία χρησιμοποιούνται για να ενισχύσει το κάθε ένα από αυτά το ένα μισό του σήματος εισόδου το οποίο ανασυντίθεται στην έξοδο για να πάρουμε ολόκληρο το αρχικό σήμα. Αυτή η διάταξη δίνει πολύ καλή απόδοση αλλά υποφέρει από το μειονέκτημα ότι υπάρχει μια ασυνέχεια στην ένωση μεταξύ των δύο μισών του σήματος. Αυτό λέγεται «παραμόρφωση διασταυρώσεως» (crossover distortion). Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι να πολωθούν τα στοιχεία με τρόπο ώστε να μην είναι τελείως σβηστά όταν δεν χρησιμοποιούνται. Αυτή η προσέγγιση λέγεται τάξη AB.

Στην τάξη AB κάθε στοιχείο λειτουργεί κατά τον ίδιο τρόπο με την B για το κάθε μισό της κυματομορφής και επίσης βρίσκεται σε αγωγή για ένα μικρό κομμάτι του άλλου μισού. Έτσι η νεκρή ζώνη στην ένωση των δύο μισών ελαττώνεται ή εξαλείφεται με αποτέλεσμα όταν πια οι κυματομορφές από τα

δύο στοιχεία ενώνονται η παραμόρφωση crossover να έχει σχεδόν εξαφανιστεί.



Εικόνα 3.3-3: Εξάλειψη της crossover παραμόρφωσης στον ενισχυτή Push-Pull τάξης B

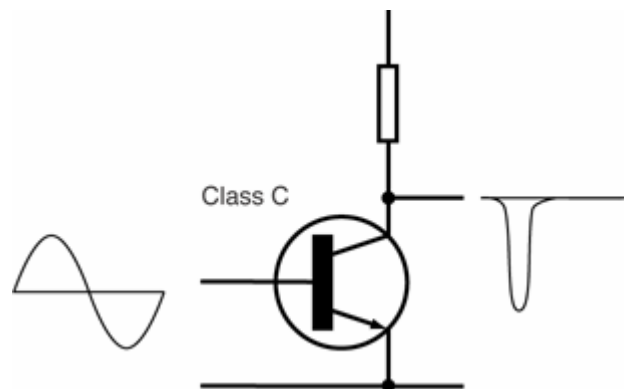
Παρόλο που η AB υστερεί σε απόδοση ισχύος σε σχέση με την B χάριν της γραμμικότητας, αυτή είναι κατά πολύ υψηλότερη της τάξης A.

Τα κυκλώματα τάξης B και AB είναι τα πιο διαδεδομένα σε ενισχυτές ήχου. Η τάξη AB θεωρείται ένας πολύ καλός συμβιβασμός για ενισχυτές ήχου αφού για χαμηλές εντάσεις το σήμα ενισχύεται με καλή πιστότητα ενώ όταν η ένταση στην έξοδο ανέβει, η στάθμη του σήματος είναι κατά πολύ υψηλότερη από την παραμόρφωση και άρα αυτή δεν γίνεται αντιληπτή.

3.4 Η τάξη C

Οι ενισχυτές τάξης C άγουν κατά λιγότερο από 50% του σήματος εισόδου. Η παραμόρφωση στην έξοδο είναι πολύ μεγάλη αλλά μπορούμε να πετύχουμε απόδοση ισχύος της τάξης του 90%.

Η τάξη C δεν έχει πρακτική εφαρμογή σε ενισχυτές ήχου λόγω της πολύ μεγάλης παραμόρφωσης. Το σήμα εισόδου χρησιμοποιείται στην ουσία μόνο για να ανοίξει ή να κλείσει απότομα το στοιχείο ενίσχυσης. Αυτό μεταφράζεται στην έξοδο σε παλμούς ρεύματος οι οποίοι συνήθως περνάνε μετά σε ένα συντονιζόμενο κύκλωμα. Με κάποιους μηχανισμούς, που δεν χρειάζεται να αναλύσουμε, η κεντρική συχνότητα συντονισμού στην έξοδο παρουσιάζεται



Εικόνα 3.4-1: Η τάξη C.

αρκετά ενισχυμένη και χωρίς σημαντική παραμόρφωση, σε αντίθεση με τις συχνότητες γύρω από αυτήν που βγαίνουν κατά πολύ εξασθενημένες. Έτσι η τάξη C βρίσκει εφαρμογή σε ενισχυτές RF, όπως π.χ. ραδιοφωνικούς πομπούς.

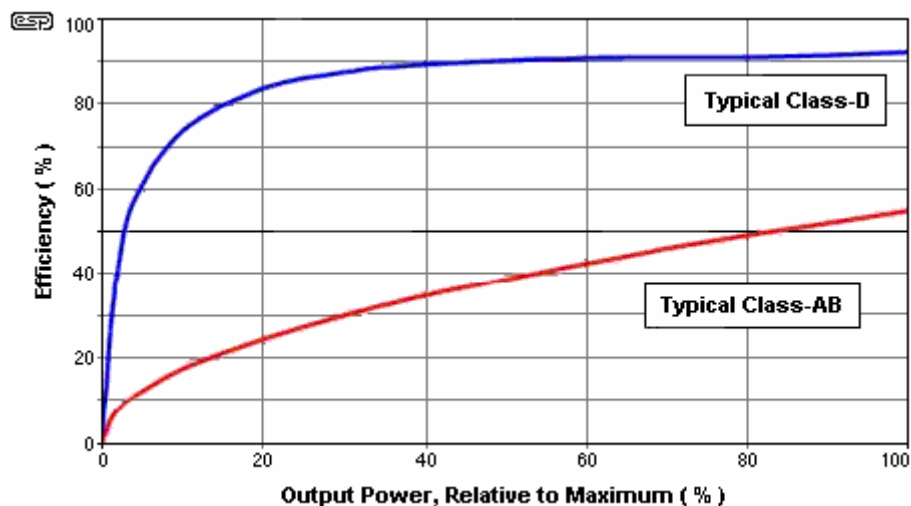
3.5 Η τάξη D

3.5.1 Εισαγωγή

Το γράμμα D πολλοί θα έλεγαν ότι είναι το αρχικό του Digital αλλά αυτό δεν ισχύει. Είναι απλά το επόμενο από το C!

Κύριο χαρακτηριστικό των ενισχυτών αυτών είναι η μεγάλη απόδοση ισχύος. Αυτό το καταφέρνουν με τη χρήση της τεχνολογίας PWM (Pulse Width Modulation). Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει στα στοιχεία της εξόδου να έχουν δύο καταστάσεις λειτουργίας, είτε πλήρως αγωγίμα είτε τελείως κλειστά. Έτσι αφού δεν μεταβάλλεται η εσωτερική τους αντίσταση σχεδόν εκμηδενίζονται οι απώλειες σε μορφή θερμότητας, οι οποίες είναι αρκετά μεγάλες στις τάξεις που αναφέραμε παραπάνω.

Πρακτικά η απόδοση τέτοιων κατασκευών ξεπερνά το 90%. Αυτό μεταφράζεται σε σημαντικά χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος αλλά κυρίως σε δραματική μείωση του όγκου των ψηκτρών. Αν θα δούμε έναν ενισχυτή τάξης D το πρώτο πράγμα που παρατηρούμε είναι ότι απουσιάζουν αυτές οι τεράστιες αλουμινένιες προεξοχές που σε άλλες περιπτώσεις είναι απαραίτητες για να διατηρούν τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα σχετικά κρύα.



Εικόνα 3.5.1-1: Απόδοση ισχύος ενισχυτή σε σχέση με την ισχύ εξόδου (%).

Επίσης σημαντικά μικρότεροι είναι οι μετασχηματιστές και οι πυκνωτές στα τροφοδοτικά ισχύος. Όλα τα παραπάνω συνιστούν, εκτός από την εξοικονόμηση σε όγκο και βάρος, την μείωση του κόστους της εν λόγω κατασκευής.

3.5.2 Πώς λειτουργεί;

Στους κλασικούς ενισχυτές τουλάχιστον ένα στοιχείο εξόδου (BJT, FET, λυχνία) άγει συνεχώς. Αυτό σημαίνει ότι το διαπερνά ένα ρεύμα και λόγω της εσωτερικής του αντίστασης υπάρχει μια πτώση τάσης στα άκρα του. Αφού ισχύει $P=V \cdot I$ τότε καταναλώνει ισχύ ακόμα και όταν δεν υπάρχει έξοδος αφού ένα μικρό ρεύμα πρέπει να διαρρέει τα τρανζίστορ για να αποφεύγεται η παραμόρφωση crossover.

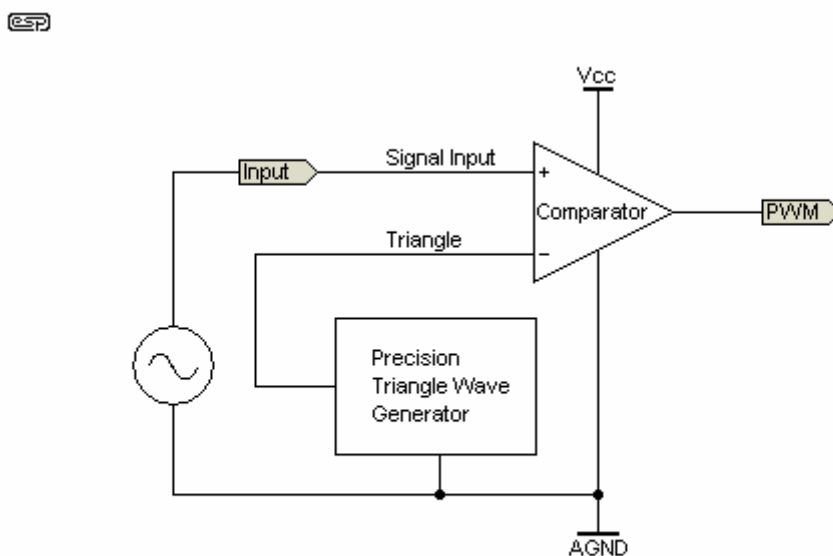
Από την άλλη μεριά η τάξη D βασίζει την λειτουργία της στην μεταγωγή των στοιχείων εξόδου (σχεδόν πάντα MOSFET) μεταξύ δύο και μόνο καταστάσεων «on» και «off». Στην κατάσταση «on» μια ποσότητα ρεύματος διαρρέει το FET ενώ δεν υπάρχει θεωρητικά καθόλου πτώση τάσης μεταξύ drain και source ($V_{ds}=0$). Στην κατάσταση «off» η τάση θα είναι ίση με την τροφοδοσία αφού το FET συμπεριφέρεται σαν ανοιχτό κύκλωμα και δεν θα ρέει καθόλου ρεύμα. Και στις δυο περιπτώσεις η κατανάλωση ισχύος είναι μηδενική. Πώς γίνεται όμως ένα ακουστικό σήμα να μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα τετραγωνικό παλμό με δύο μόνο πιθανές στάθμες;

Στην πραγματικότητα γίνεται μία διαμόρφωση των χαρακτηριστικών του τετραγωνικού αυτού παλμού και εκεί βρίσκεται η πληροφορία.

Το μόνο που χρειάζεται είναι να καταλάβουμε πως γίνεται αυτή η διαμόρφωση και πως θα αποκαλύψουμε το ενισχυμένο ακουστικό σήμα.

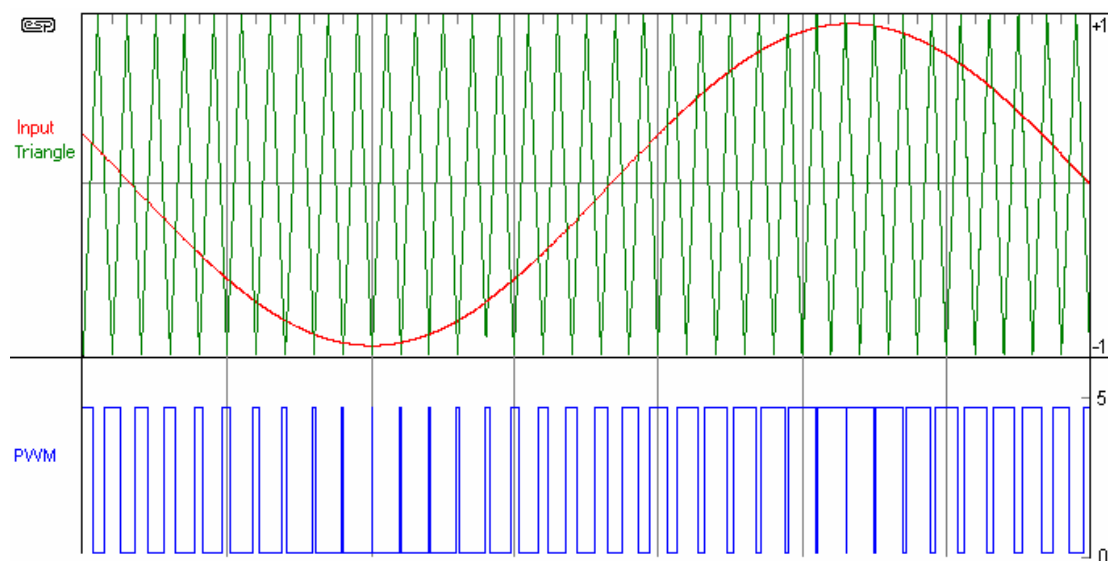
Η πιο συνηθισμένη τεχνική είναι η διαμόρφωση εύρους των παλμών ή PWM. Σε αυτήν παράγεται ένας τετραγωνικός παλμός σταθερής συχνότητας που όμως ο χρόνος κατά τον οποίο βρίσκεται σε κατάσταση «high» και «low» δεν είναι ο ίδιος πάντα αλλά ποικίλει ακολουθώντας το εισερχόμενο ακουστικό σήμα. Κατά αυτόν τον τρόπο, όταν το σήμα εισόδου αυξάνει κατά πλάτος, η κατάσταση «high» θα είναι παρούσα για περισσότερο χρόνο από όσο η «low» και το αντίθετο θα συμβαίνει όταν το σήμα στην είσοδο μειώνεται.

Η διαμόρφωση PWM συνήθως παράγεται από την σύγκριση του σήματος εισόδου με ένα τριγωνικό παλμό, ο οποίος καθορίζει τόσο το πλάτος εισόδου όσο και τη συχνότητα του παραγόμενου τετραγωνικού παλμού.



Εικόνα 3.5.2-1: Βασικό κύκλωμα ενισχυτή PWM.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα τυπικό PWM σήμα διαμορφούμενο από ένα ημίτονο. Παρατηρούμε ότι σήματα με πλάτος μεταξύ 1 και -1 volt θα παράγουν αντίστοιχα 0% έως 100% duty cycle, ενώ το 50% αντιστοιχεί στα 0 volt.



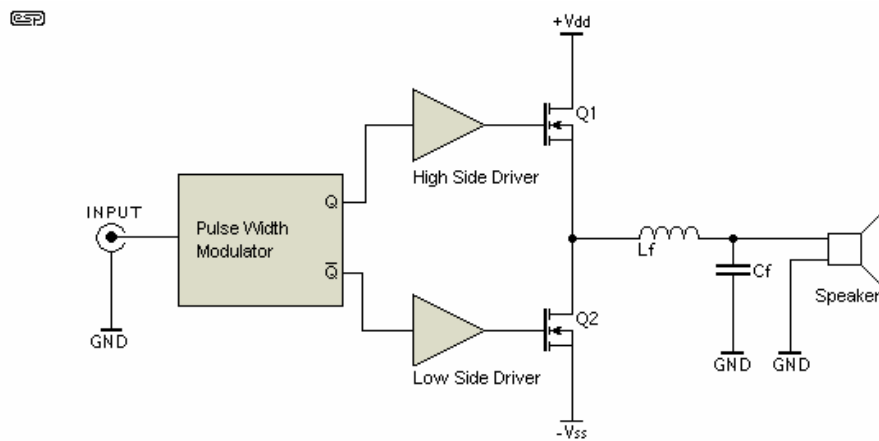
Εικόνα 3.5.2-2: Η διαμόρφωση PWM.

Επίσης για να έχουμε μια πιστή αναπαραγωγή του σήματος θα πρέπει η PWM συχνότητα αναφοράς να είναι υψηλότερη της μέγιστης συχνότητας εισόδου. Σύμφωνα με το θεώρημα του Nyquist, αυτή θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια, αλλά στους ενισχυτές ήχου όπου θέλουμε πολύ μικρή παραμόρφωση, χρησιμοποιούμε πολύ μεγαλύτερη συχνότητα.

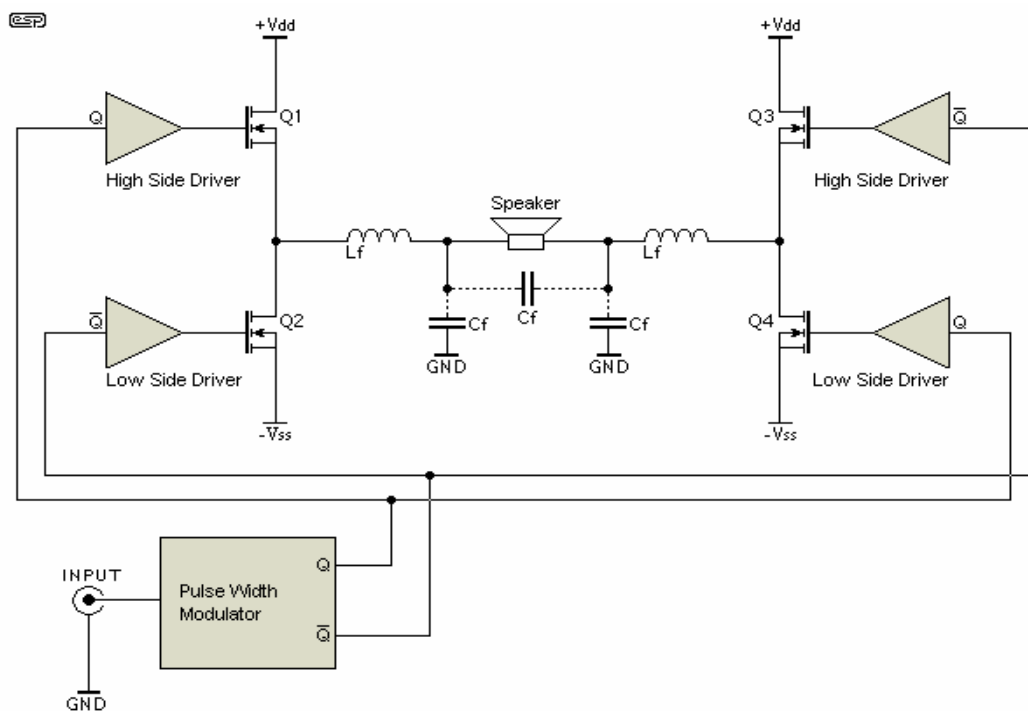
Το φάσμα μιας PWM διαμόρφωσης περιέχει μια χαμηλή συχνότητα, που είναι ένα αντίγραφο του φάσματος της εισόδου, αλλά περιέχει επίσης και την υψηλή συχνότητα αναφοράς, καθώς και τις αρμονικές της, οι οποίες πρέπει να αφαιρεθούν για να αναγεννηθεί το αρχικό σήμα στην έξοδο. Για αυτό είναι απαραίτητο ένα χαμηλοπερατό φίλτρο στην έξοδο. Σχεδόν πάντα αυτό είναι ένα παθητικό φίλτρο LC.

3.5.3 Βασικά κυκλώματα

Υπάρχουν δυο βασικά κυκλώματα ενισχυτών τάξης D. Το ένα είναι αυτό της ημιγέφυρας, όπου απαιτούνται δυο mosfet στην έξοδο, και το άλλο αυτό της πλήρους γέφυρας, όπου απαιτούνται τέσσερα mosfet στην έξοδο. Καθένα από αυτά έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.



Εικόνα 3.5.3-1: Κύκλωμα ημιγέφυρας ενισχυτή τάξης D



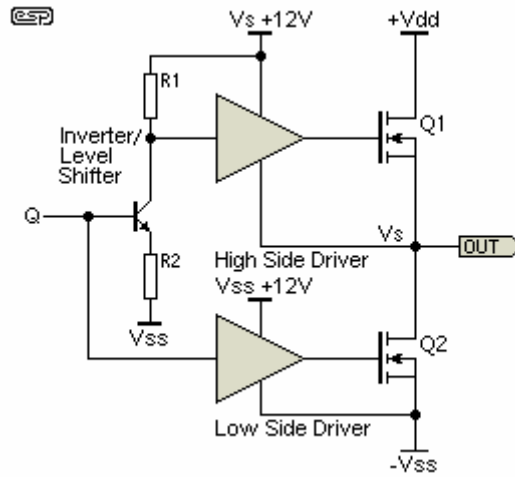
Εικόνα 3.5.3-2: Κύκλωμα πλήρους γέφυρας ενισχυτή τάξης D

Ο σωστός χρονισμός καθ' όλη τη διαδικασία παίζει μεγάλη σημασία. Κάθε λάθος όπως καθυστέρηση ή μεγάλο rise-time των mosfet θα επηρεάσει την

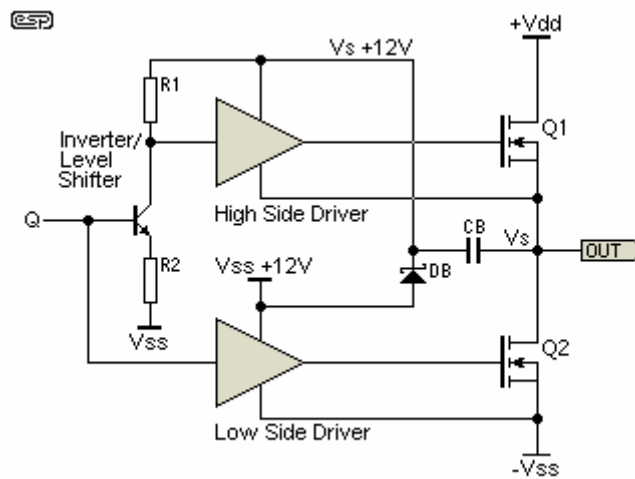
ποιότητα του ήχου στην έξοδο. Άρα όλα τα χρησιμοποιούμενα εξαρτήματα στην κατασκευή πρέπει να είναι υψηλής ταχύτητας.

Η απόδοση επηρεάζεται επίσης από τον χρόνο αδρανείας (dead-time) των mosfet. Αυτός είναι ο χρόνος κατά τον οποίο δεν άγει κανένα mosfet και πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος ώστε να έχουμε γρήγορη απόκριση και συνεπώς λιγότερη παραμόρφωση. Επίσης το dead-time πρέπει να είναι ικανοποιητικά μεγάλο για να διασφαλιστεί ότι σε καμία περίπτωση δεν θα βρεθούν σε κατάσταση αγωγής και τα δυο mosfet ταυτόχρονα, γιατί αυτό θα σημαίνει την γρήγορη καταστροφή τους. Τυπικές τιμές του dead-time κυμαίνονται από 5 έως 100ns.

Για να εξασφαλίσουμε πολύ μικρούς χρόνους εναλλαγής των mosfet θα πρέπει τα κυκλώματα οδήγησής τους να παρέχουν υψηλό ρεύμα για να φορτίζουν και να αποφορτίζουν τη χωρητικότητα της πύλης κατά την φάση της εναλλαγής. Τυπικός χρόνος εναλλαγής (rise/fall-time) είναι τα 20-50ns, ο οποίος απαιτεί ρεύμα πύλης πάνω από 1A! Πρέπει να σημειωθεί ότι διατάξεις τέτοιων ενισχυτών χρησιμοποιούν κατά κόρον mosfet N-καναλιού. Για να έρθει ένα τέτοιο mosfet σε κατάσταση αγωγής, πρέπει να εφαρμοστεί σε αυτό μια τάση V_{gs} ανώτερη της V_{th} . Το κάτω mosfet έχει την πηγή του συνδεδεμένη στο $-V_{ss}$ η οποία είναι και η τάση αναφοράς του κυκλώματος οδήγησής του. Ωστόσο, η οδήγηση του πάνω mosfet είναι πιο δύσκολη καθώς η πηγή του, που είναι και η αναφορά του κυκλώματος οδήγησης, συνεχώς αλλάζει από $+V_{dd}$ σε $-V_{ss}$ (ας θεωρήσουμε την πτώση τάσης V_{ds} στο mosfet αμελητέα). Έτσι η τάση του κυκλώματος οδήγησης πρέπει να είναι μερικά volt μεγαλύτερη από την $+V_{dd}$ για να μπορεί να δημιουργηθεί μια θετική V_{gs} που θα φέρει το Q1 σε αγωγή. Αυτό επίσης επιβάλλει μια ολίσθηση τάσης για να μπορεί ο διαμορφωτής να επικοινωνεί σωστά με το κύκλωμα οδήγησης. Η οδήγηση λοιπόν της πύλης είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στους σχεδιασμούς τάξης D. Ευτυχώς υπάρχει πλέον στην αγορά ένας αριθμός ολοκληρωμένων κυκλωμάτων υψηλής ταχύτητας που είναι ειδικά σχεδιασμένα για να κάνουν αυτή τη δουλειά. Πάλι όμως πρέπει να δημιουργήσουμε τάση ανώτερη της V_s κατά 12volt. Η πιο διαδεδομένη τεχνική η χρήση ενός κυκλώματος "bootstrap". Αυτό απαρτίζεται από ένα πυκνωτή και μια δίοδο υψηλής ταχύτητας (συνήθως shotkey). Η έξοδος του ενισχυτή παράγει τους παλμούς που χρειάζονται για να φορτίσουν τον πυκνωτή.



Εικόνα 3.5.3-3: Κύκλωμα ημιγέφυρας ενισχυτή τάξης D χωρίς κύκλωμα bootstrap.



Εικόνα 3.5.3-4: Κύκλωμα ημιγέφυρας ενισχυτή τάξης D με κύκλωμα bootstrap.

ΚΕΦ.4 ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΤΑΞΗΣ D ΜΕ MULTILEVEL SPWM

4.1 Πως λειτουργεί.

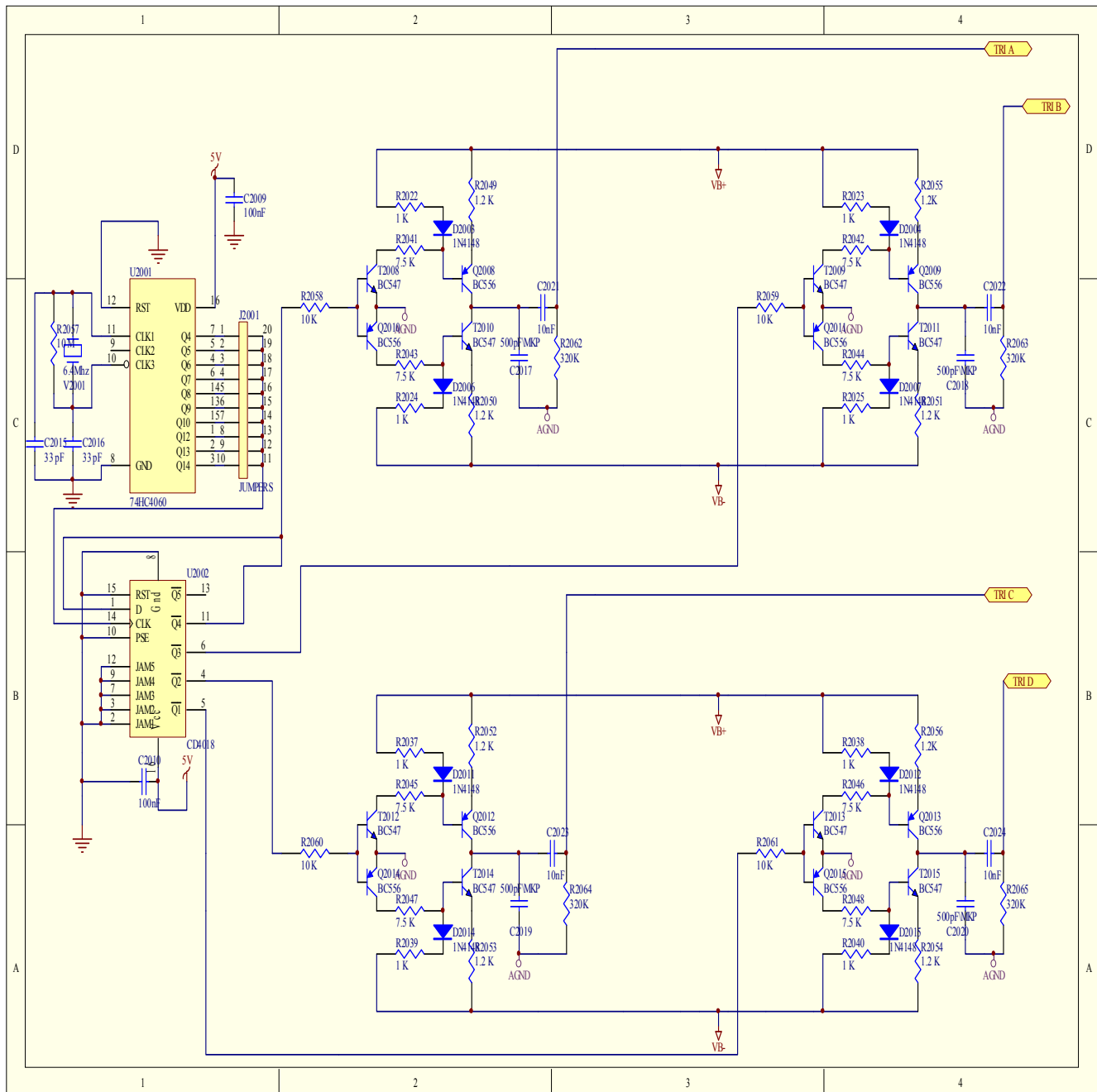
Το σύστημά μας αποτελείται από τέσσερις διαμορφωτές SPWM καθένας από τους οποίους διαμορφώνει το ίδιο σήμα σε μια φέρουσα. Οι τέσσερις φέρουσες SPWM παράγονται από τέσσερις τριγωνικούς παλμούς με διαφορά φάσης μεταξύ τους. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η πολυεπίπεδη ημιτονοειδής διαμόρφωση εύρους παλμών (Multilevel Sinusoidal Pulse Width Modulation).

4.2 Το κύκλωμα.

Παρακάτω φαίνονται τα σχηματικά της κατασκευής με τη σειρά που αυτά συναντώνται.

4.2.1 Το κύκλωμα χρονισμού.

Είναι το κύκλωμα που παράγει τους τέσσερις τριγωνικούς παλμούς με την απαραίτητη διαφορά φάσης μεταξύ τους. Σαν γεννήτρια, τετραγωνικών στην αρχή, παλμών χρησιμοποιούμε ένα απαριθμητή, τον 74HC4060, σε συνδυασμό με έναν κρύσταλλο 6.4MHz. Έχουμε τη δυνατότητα με την βοήθεια ενός βραχυκυκλωτήρα (jumper) να επιλέξουμε μία από τις δέκα εξόδους του απαριθμητή, αυτή δηλαδή που μας δίνει την επιθυμητή διαίρεση συχνότητας. Έπειτα η συχνότητα αυτή εισέρχεται σε ένα άλλο απαριθμητή, τον CD4018, ο οποίος διαιρεί τον εισερχόμενο τετραγωνικό παλμό με το 8 και μας δίνει 4 παλμούς με την επιθυμητή διαφορά φάσης μεταξύ τους. Στη συνέχεια αυτοί οι τέσσερις παλμοί εισάγονται σε τέσσερα κυκλώματα μετατροπής τετραγώνου σε τρίγωνο. Αποτέλεσμα είναι τέσσερις τριγωνικοί παλμοί με διαφορά φάσης μεταξύ τους.

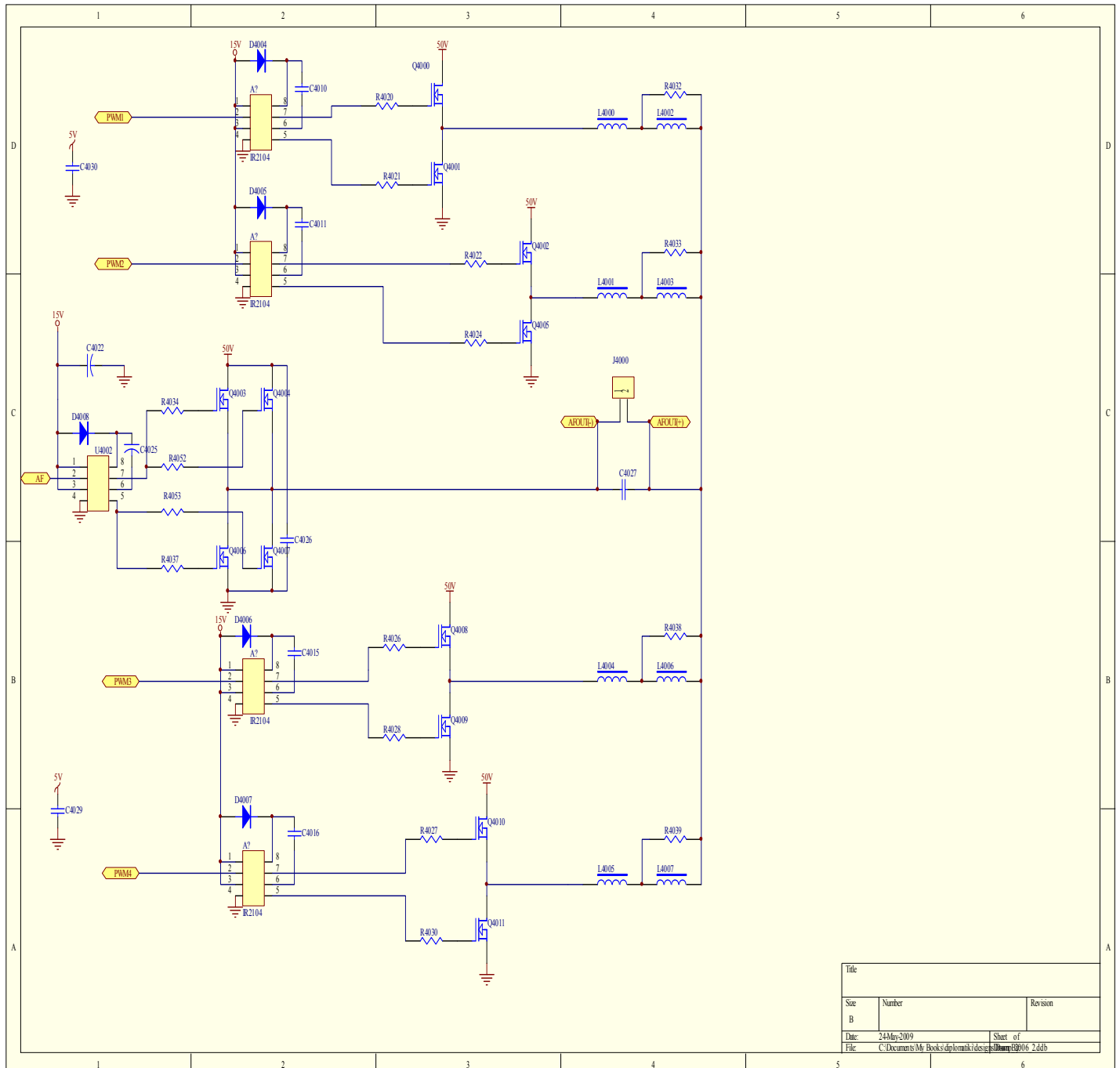


Εικόνα 4.2.1-1: Το κύκλωμα χρονισμού.

4.2.2 Το κύκλωμα διαμόρφωσης

Το επόμενο στάδιο είναι εκείνο που θα συνδυάσει την ακουστική συχνότητα που έχουμε σαν είσοδο με τα τέσσερα τρίγωνα από την προηγούμενη βαθμίδα για να παράγει τα επίπεδα PWM που θα οδηγήσουν την βαθμίδα

στους οδηγούς ημιγέφυρας τύπου IR2104. Αυτοί με την σειρά τους οδηγούν τα MOSFET τύπου IRFZ44N. Το αναγεννημένο και ενισχυμένο πλέον σήμα εισόδου φέρει μια ανεπιθύμητη υψηλή συχνότητα η οποία αφαιρείται από το δικτύωμα πηνίων, αντιστάσεων και πυκνωτή που ακολουθεί.

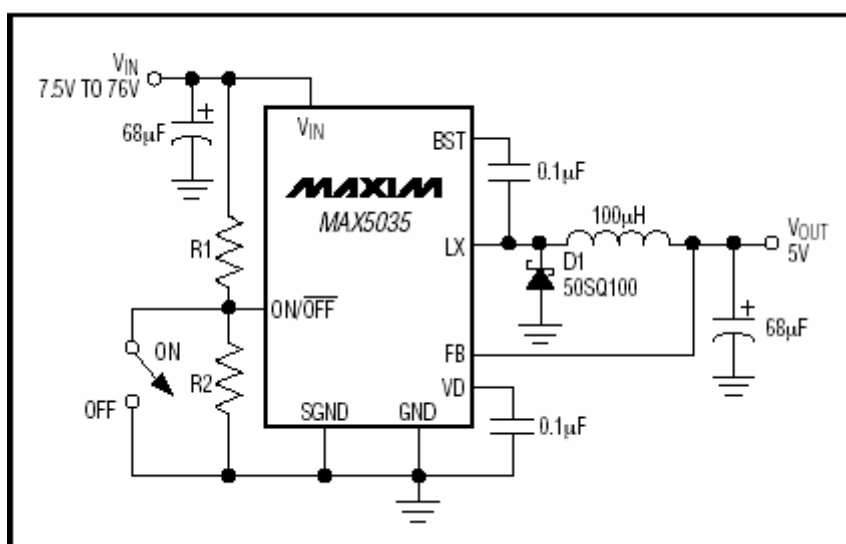


Εικόνα 4.2.3-1: Η βαθμίδα εξόδου.

4.2.4 Το τροφοδοτικό.

Ασφαλώς για να λειτουργήσουν όλα εκείνα τα εξαρτήματα που απαρτίζουν το κύκλωμα της κατασκευής, χρειάζονται κατάλληλες τάσεις. Η πλακέτα έχει μια κεντρική τροφοδοσία 50 Volt την οποία δέχεται από εξωτερικό σταθεροποιημένο τροφοδοτικό. Αυτά τα 50 Volt χρησιμοποιούνται αυτούσια από τις γέφυρες με τα FET.

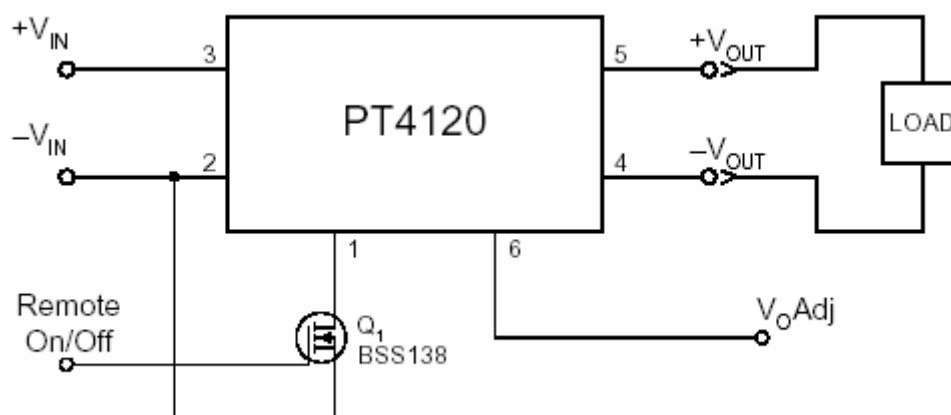
Κάποια από τα ολοκληρωμένα χρειάζονται τροφοδοσία 5 Volt. Αυτά τα παίρνουμε από το ολοκληρωμένο MAX5035B που είναι switching σταθεροποιητής της MAXIM. Η είσοδος που μπορεί να δεχτεί είναι μέχρι τα 76 volt, οπότε λειτουργεί άνετα με τα 50 volt της κατασκευής. Η έξοδος του είναι σταθερή 5 volt και μπορεί να δώσει ρεύμα 1 ampere χωρίς να χρειάζεται ψήκτρα!



Εικόνα 4.2.4-1 : Το ολοκληρωμένο MAX5035B σε πραγματικό κύκλωμα.

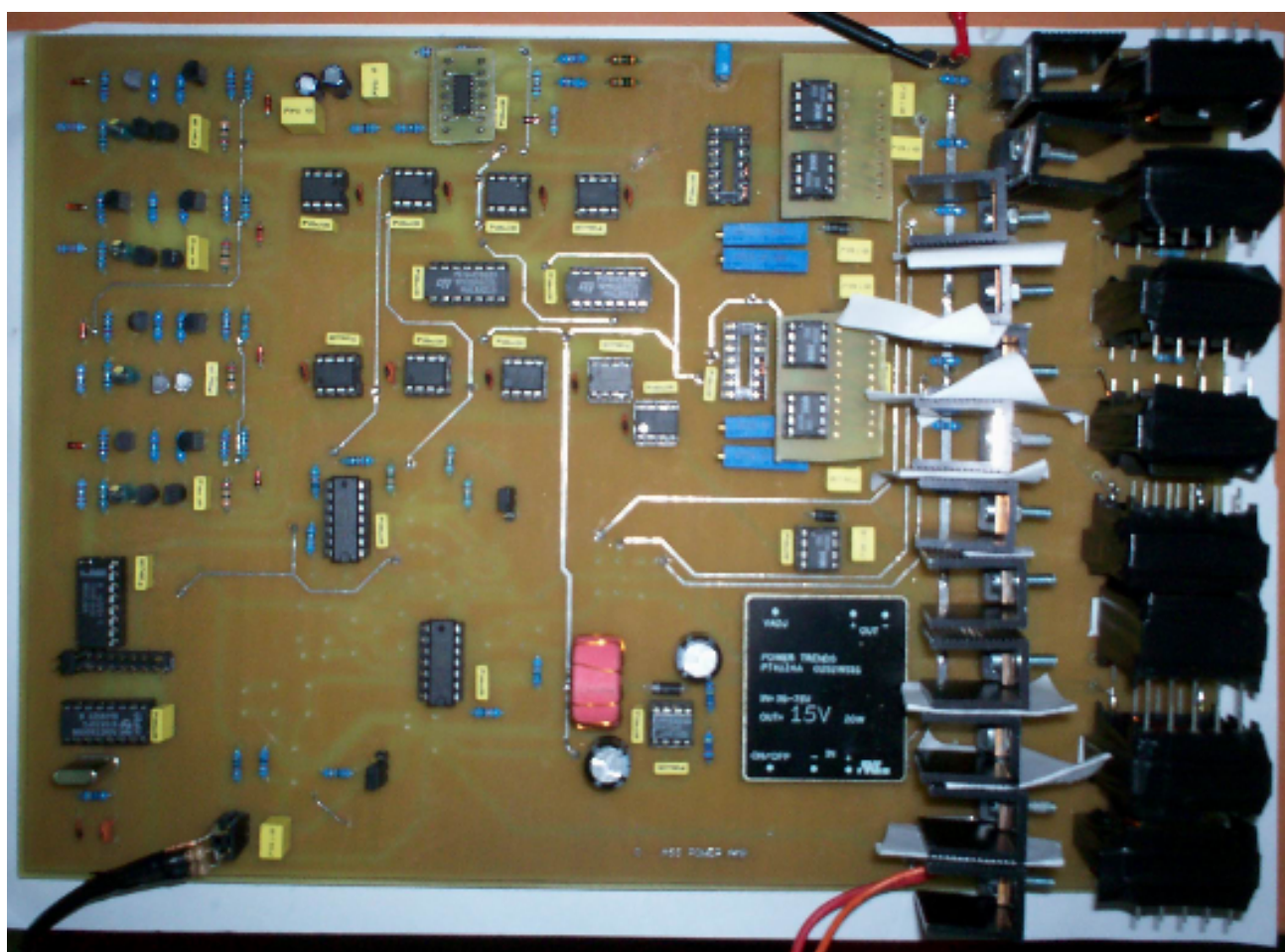
Οι οδηγοί των FET IR2104 χρειάζονται τάση 15 volt. Αυτά τα μας τα δίνει ένας άλλος ολοκληρωμένος σταθεροποιητής ο οποίος μάλιστα δεν χρειάζεται καθόλου εξωτερικά εξαρτήματα. Είναι ο PT4120 της Texas Instruments που συνδέεται απ' ευθείας στα 50 volt αφού μπορεί να πάρει είσοδο μέχρι 75 volt και να δώσει έξοδο 15 volt με πάνω από 1 ampere ρεύμα.

Λόγω του ότι και οι δυο σταθεροποιητές που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι switching έχουν πολύ υψηλή απόδοση και δεν χρειάζονται ψήκτρες.

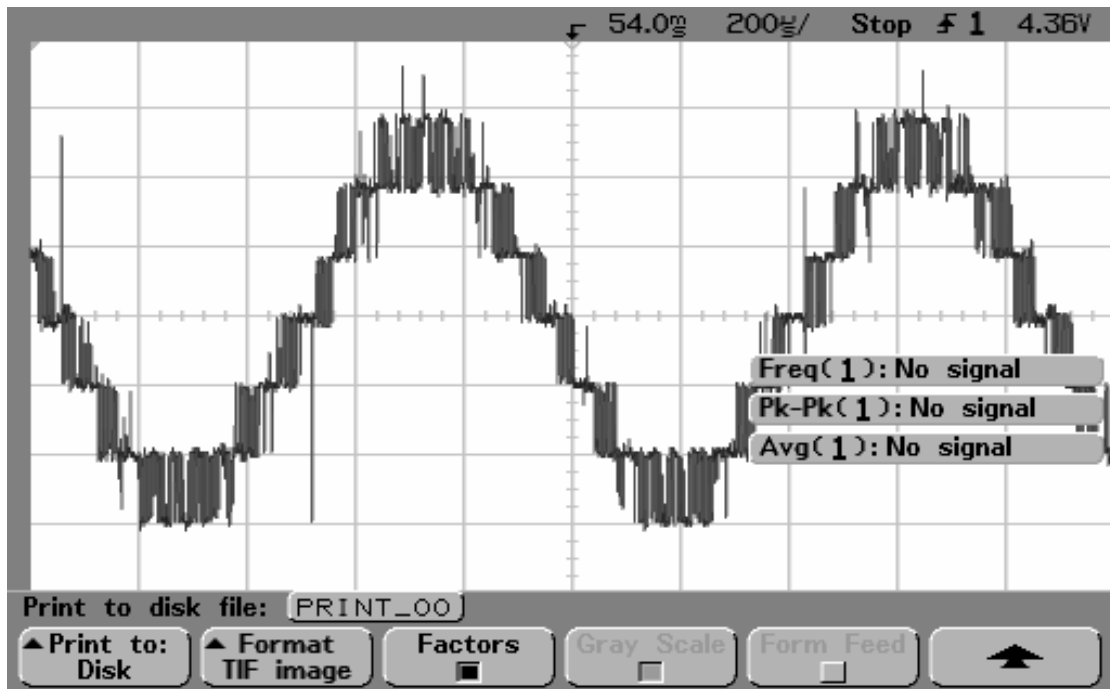


Εικόνα 4.2.4-2 : Συνδεσμολογία του ολοκληρωμένου PT4120.

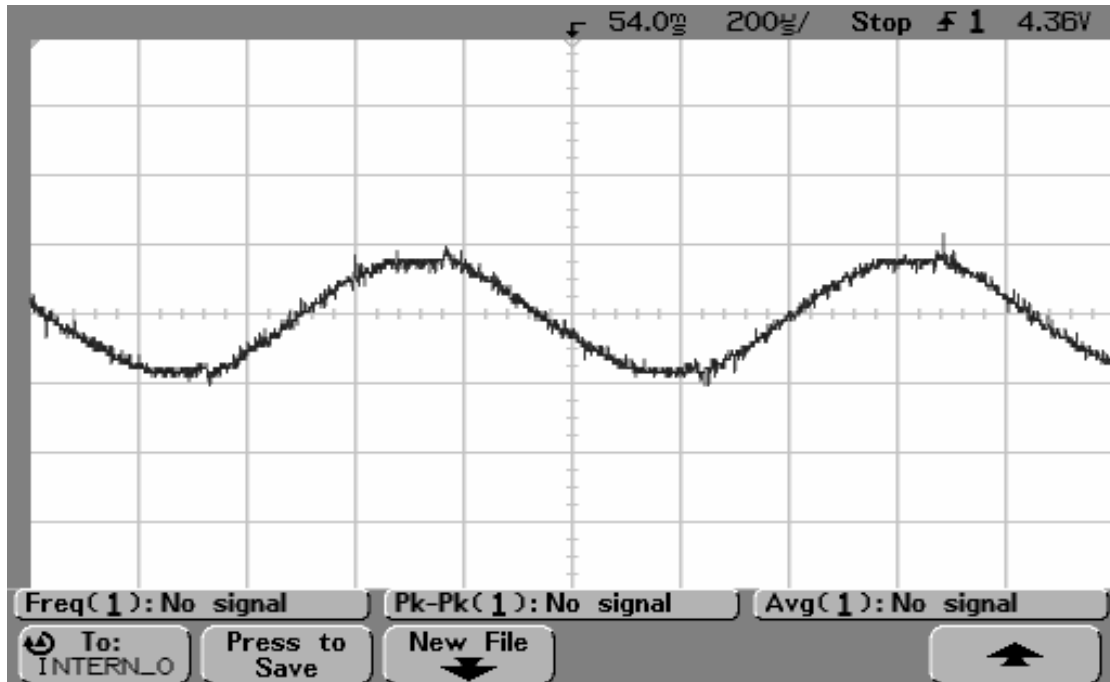
4.3 Αποτελέσματα – Μετρήσεις.



Εικόνα 4.3-1: Η πλακέτα της κατασκευής.



Εικόνα 4.3-2: Η έξοδος του ενισχυτή πριν τη σύνδεση του βαθυπερατού φίλτρου.



Εικόνα 4.3-3: Η έξοδος μετά τη σύνδεση του φίλτρου.

Στην εικόνα 4.3-2 φαίνεται η έξοδος του ενισχυτή με είσοδο ημιτονικό σήμα και πριν τη χρήση του φίλτρου στην έξοδο. Εύκολα διακρίνουμε τα οκτώ επίπεδα της παλμοδιαμόρφωσης. Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε την ίδια έξοδο μετά όμως από την χρήση του βαθυπερατού φίλτρου. Παρατηρούμε ότι η υψηλή συχνότητα έχει εξαφανιστεί και το τελικό σήμα είναι σχεδόν όμοιο με αυτό της εισόδου.