

Προενισχυτές και Τελικοί Ενισχυτές

(Τί είναι και πώς λειτουργούν...)

Εισαγωγή

Από την στιγμή που τα συστήματα ήχου έγιναν ηλεκτρικά, με τα ηχεία να βασίζονται στην μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε ακουστική, η έννοια του ενισχυτή έγινε συνώνυμη με αυτήν του audio και του hifi. Οι ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων αποτελούν μία ολόκληρη ενότητα στο κεφάλαιο των αναλογικών ηλεκτρονικών και η εξέλιξή τους, ταυτισμένη εν πολλοίς με την εξέλιξη των ίδιων των συστημάτων ήχου, ακολούθησε τις εξελίξεις των υλικών, των τεχνολογιών αλλά και του... lifestyle. Από τους πρώτους ενισχυτές με λυχνίες και τους πρώτους ημιαγωγικούς (με τρανζίστορ γερμανίου) μέχρι τους ενισχυτές τάξης D ο δρόμος υπήρξε μακρύς και ενδιαφέρων. Ένα κομμάτι του ενδιαφέροντος αυτού οφείλεται χωρίς αμφιβολία στην ειδική χρήση τους: Η δομή, οι περιορισμοί και οι απαιτήσεις που έχουμε από έναν ενισχυτή audio αποτελούν από μόνα τους κεφάλαια της ιστορίας των καταναλωτικών ηλεκτρονικών και κρύβουν λεπτομέρειες που σπάνια συζητούνται.

Δημήτρης Σταματάκος

(http://www.avmentor.gr/about/ds_bio.htm)

Προενισχυτές & Τελικοί ενισχυτές

Τί Είναι και Πώς Λειτουργούν...

Παραδοσιακά, έχουμε μάθει να βλέπουμε τον ενισχυτή είτε ως ολοκληρωμένο, είτε ως προενισχυτή, είτε ως τελικό ενισχυτή. Από τεχνικής πλευράς, πάντως, μόνο οι δύο τελευταίες κατηγορίες είναι πραγματικά καθορισμένες (υπό την έννοια ότι έχουν αρκετές διαφορές), με τους ολοκληρωμένους ενισχυτές να αποτελούν στην ουσία ένα συνδυασμό προενισχυτή και τελικού σε ένα περίβλημα, εξηγώντας έτσι και την απουσία τους από τον τίτλο.

Προενισχυτές

Ο προενισχυτής σε ένα σύστημα είναι πολύ περισσότερο από ένας απλός router διότι επιτελεί δύο πολύ σημαντικές λειτουργίες. Πρώτον, την προσαρμογή της αντίστασης εξόδου της πηγής με αυτήν του τελικού ενισχυτή και την σωστή οδήγηση του τελευταίου και, δεύτερον, την ρύθμιση της στάθμης. Πέραν των λειτουργιών αυτών, βεβαίως, προσφέρει και μία σειρά από άλλες υπηρεσίες: Η ρύθμιση της ισορροπίας των καναλιών, η αποέμφαση RIAA και η δρομολόγηση των σημάτων, κατά βάση, είναι μερικές από αυτές.

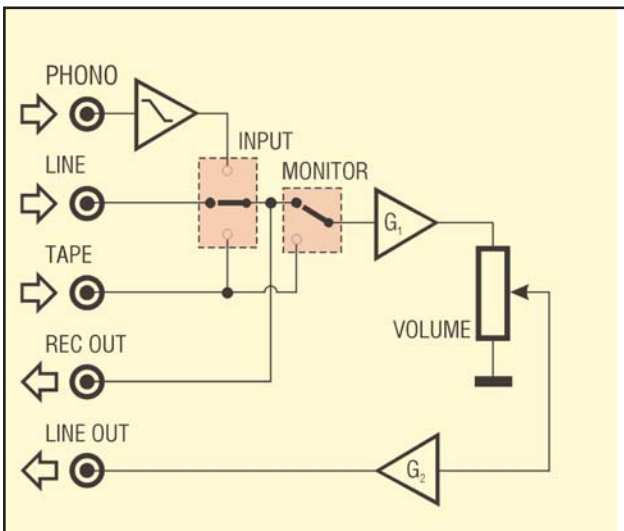
Ενας προενισχυτής μπορεί να είναι από εξαιρετικά απλός μέχρι εξαιρετικά πολύπλοκος με βάση την εσωτερική του δομή. Ωστόσο, εξαιρώντας τις διάφορες εξεζητημένες επιλογές και λύσεις, ένας προενισχυτής αποτελείται, κατά βάση, από τις βαθμίδες που φαίνονται στο σχήμα 1. Εκεί διακρίνονται μία σειρά από ενισχυτικά στάδια, ανάμεσα στα οποία περιλαμβάνεται ο ξεχωριστός προενισχυτής της

φωνογραφικής κεφαλής που εφαρμόζει και την αποέμφαση RIAA, δύο βασικοί επιλογείς, αυτός της πηγής (Input) και αυτός της ακρόασης (Monitor) καθώς επίσης και το ρυθμιστικό της στάθμης.

Το μοντέλο του σχήματος είναι το κλασικό «Ευρωαμερικανικό» της δεκαετίας του 80 και περιλαμβάνει τον μυστηριώδη διακόπτη monitor. Ο διακόπτης αυτός επιτρέπει την παρακολούθηση της εγγραφής όταν η συσκευή εγγραφής περιλαμβάνει τέτοια δυνατότητα (open reels, τρικέφαλα κασετόφωνα, DAT με δυνατότητα source/tape). Σε κάποιες μινιμαλιστικές εκδόχες, η ύπαρξη του monitor καταργεί την θέση «Tape» στον επιλογέα εισόδου ενώ, η σύγχρονη άποψη περιλαμβάνει έναν ξεχωριστό διακόπτη επιλογής πηγής προς εγγραφή (Recording selector) που καταργεί το Tape monitor. Ο αριθμός των ενισχυτικών σταδίων, αξίζει σχολιασμού: Κατ' αρχήν από το σχήμα είναι προφανές ότι η ύπαρξη του προενισχυτή phono κάνει την αντίστοιχη είσοδο «ειδική». Καθώς ο προενισχυτής phono δεν μπορεί να βγει «εκτός», στην είσοδο αυτή δεν μπορεί να συνδεθεί τίποτε άλλο. Τα υπόλοιπα δύο ενισχυτικά στάδια επιτρέπουν στα ρυθμιστικά στάθμης και ισορροπίας να παρεμβληθούν και να απομονωθούν τόσο από την πηγή όσο και από τον τελικό. Στο σημείο αυτό είναι δυνατόν να τοποθετηθούν τα, κάπως «fasse» είναι η αλήθεια, ρυθμιστικά τονικότητας. Το δεύτερο στάδιο, αυτό πριν την έξοδο του προενισχυτή, είναι στην πράξη ένα buffer/driver, που έχει σαν στόχο να απομονώσει τα πρώτα στάδια από τις ιδιότητες των καλωδίων σύνδεσης και τις ιδιοτροπίες του τελικού ενισχυτή, ένα

στοιχείο που διαφοροποιεί τους συνήθεις από τους παθητικούς προενισχυτές. Ο παθητικός προενισχυτής φέρνει στην επιφάνεια την αρκετά ενδιαφέροντα αν

Σχήμα 1. Σε αυτό το απλοποιημένο διάγραμμα ενός προενισχυτή μπορεί κανείς να διακρίνει τις εισόδους και τις εξόδους (αριστερά) το στάδιο αποέμφασης RIAA (αμέσως μετά την είσοδο phono) τους διακόπτες δρομολόγησης του σήματος τον ρυθμιστή της στάθμης εξόδου και τα ενισχυτικά στάδια (G1 και G2)



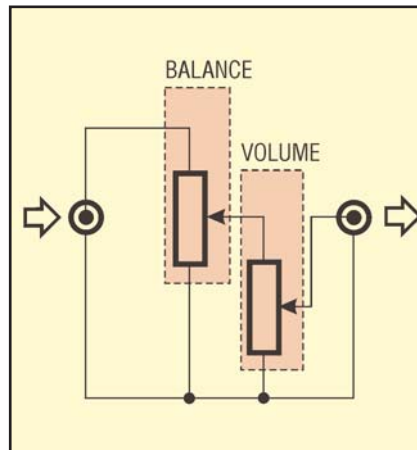
και κάπως σκοτεινή υπόθεση των εξασθενητών (attenuators) ένα κομμάτι ιδιαίτερα σημαντικό στην προενίσχυση.

Η ρύθμιση της στάθμης και της ισορροπίας

Η ρύθμιση της στάθμης είναι, για πολλούς, το κρισιμότερο και πλέον αδύνατο σημείο ενός προενισχυτή, μετά την είσοδο της φωνογραφικής κεφαλής, αν αυτή υπάρχει. Ο λόγος είναι διττός:

Πρώτον, το ίδιο το εξάρτημα της ρύθμισης εκ των πραγμάτων διαθέτει ατέλειες, επειδή είναι μηχανικό, και οι ατέλειες αυτές περνούν στην έξοδο. Ατέλειες στην επαφή του δρομέα με την επιφάνεια ρύθμισης, και προβλήματα ομοιότητας μεταξύ των δύο ρυθμιστικών (αφου απαιτείται ένα για κάθε κανάλι) αρκούν από μόνα τους να καταστρέψουν τις επιδόσεις ενός κατά τα άλλα εξαιρετικού κυκλώματος. Δεύτερον, εγγενώς, το ρυθμιστικό στάθμης (με την μορφή μίας μεταβλητής αντίστασης πάντα) δημιουργεί προβλήματα στο συνολικό κύκλωμα το οποίο πρέπει να υπολογιστεί έτσι ώστε να αποδίδει άριστα σε όλες τις θέσεις του ρυθμιστικού. Η απλούστερη επιλογή στην υλοποίηση του τελευταίου φαίνεται στο σχήμα 2. Εδώ, το πρώτο ποτενσιόμετρο ρυθμίζει την ισορροπία ανάμεσα στα δύο κανάλια (δηλαδή την σχετική τους στάθμη) ενώ το δεύτερο ρυθμίζει την συνολική στάθμη της εξόδου, με βάση την ισορροπία που επιλέγει το πρώτο. Εδώ η λογική ερώτηση είναι: «Τι το χρειαζόμαστε το Balance, από την στιγμή που η σχέση μεταξύ των δύο καναλιών καθορίζει την ποιότητα της στερεοφωνικής εικόνας άρα πρέπει να παραμένει ως έχει από την ηχογράφηση;» Η απάντηση είναι ότι δεν το χρειαζόμαστε εκτός και αν είμαστε διατεθειμένοι να το χρησιμοποιήσουμε σωστά: Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να καλιμπράρουμε τον προενισχυτή με το balance του έτσι ώστε η

Σχήμα 2. Μία απλοποιημένη εκδοχή των ρυθμιστικών ισορροπίας και στάθμης σε έναν προενισχυτή: Πρόκειται για δύο διαδοχικούς διαρέτες τάσης (ποτενσιόμετρα) από τα οποία το πρώτο ρυθμίζει την ισορροπία μεταξύ των καναλιών (balance) και το δεύτερο την στάθμη. Στην πράξη, κάθε δικαναλικός προενισχυτής έχει δύο τέτοια ρυθμιστικά, ένα για κάθε κανάλι που τις περισσότερες φορές είναι μηχανικά συζευγμένα σε κοινούς άξονες.



ισότητα στάθμης εισόδου μεταξύ των δύο καναλιών να συνεπάγεται την ισότητα της στάθμης εξόδου! Αυτό βεβαίως γίνεται με έναν δίσκο-τέστ (διαλέξτε κάτι σε λευκό ή ακόμη καλύτερα ρόζ θόρυβο) και με ένα μετρητή στάθμης. Οι αυστηρότεροι, θα απαιτήσουν να κάνετε την ρύθμιση αυτή για κάθε θέση του Volume που χρησιμοποιείτε συχνά, διότι είναι δυνατόν να εμφανίζονται διαφορές που μεταβάλλονται σε σχέση με την γωνία στροφής του τελευταίου. Σε κάθε περίπτωση ΜΗΝ προσπαθήσετε να ρυθμίσετε την ισορροπία των καναλιών με το αυτί, κρίνοντας από έναν δίσκο με μουσική, γιατί είναι πιθανόν να κάνετε λάθος.

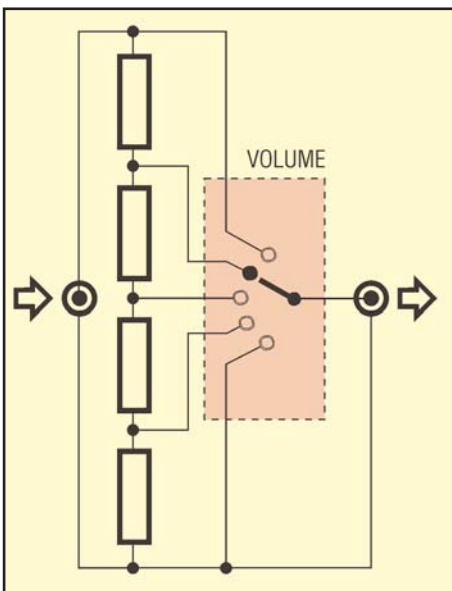
Περί εξασθενητών (attenuators)...

Μια άκρως ενδιαφέρουσα λύση στα μηχανικά προβλήματα ακρίβειας των ποτενσιόμετρων είναι η χρήση διακοπτικών ρυθμιστικών που βασίζονται σε διακριτές αντιστάσεις. Τις διατάξεις αυτές τις ονομάζουμε εξασθενητές (attenuators) σε μία καταχρηστική προσπάθεια να τις ξεχωρίσουμε από τα ποτενσιόμετρα, τα οποία επίσης, είναι εξασθενητές (αλλά όχι βηματικοί, συνεχείς).

Στο audio συναντούμε τριών ειδών διακοπτικούς εξασθενητές: Ο εξασθενητής «σειράς» ο οποίος φαίνεται στο σχήμα 3, είναι στην ουσία ένας διαιρέτης τάσης του οποίου την μεσαία λήψη επιλέγουμε μέσω ενός διακόπτη. Αυτός ο εξασθενητής είναι πολύ κοντά στην ιδέα του απλού ποτενσιόμετρου και προσφέρει ακρίβεια μεταξύ των καναλιών επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν κορυφαίες από την άποψη της ακρίβειας αντιστάσεις ενώ εμφανίζει και σταθερή αντίσταση εισόδου. Είναι δηλαδή μία σταθερή αντίσταση από την άποψη της πηγής.

Ο εξασθενητής τύπου «κλίμακας» (ladder) φαίνεται στο σχήμα 4 και αποτελεί μία

Σχήμα 3. Ο εξασθενητής σειράς δεν είναι παρά η υλοποίηση ενός συμβατικού ποτενσιόμετρου με διακριτές αντιστάσεις οι οποίες μπορεί να είναι εξαιρετικής ποιότητας και να εξασφαλίζουν απόλυτη ομοιότητα ανάμεσα στα δύο κανάλια του προενισχυτή.



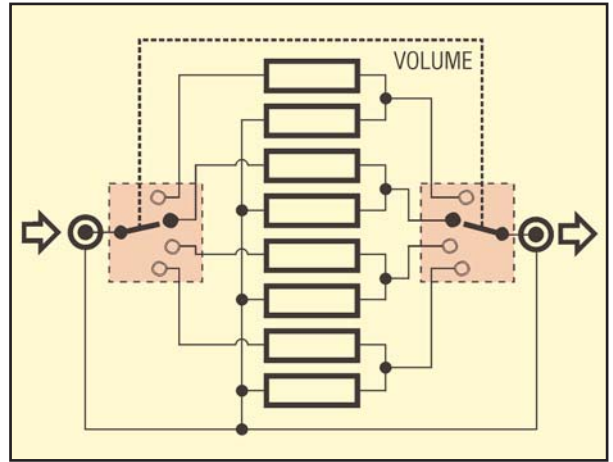
συστοιχία από ξεχωριστούς διαιρέτες τάσης. Ο επιλογέας είναι διπλός (για κάθε κανάλι) και επιτρέπει την ενεργοποίηση ενός διαφορετικού διαιρέτη σε κάθε θέση. Το πλεονέκτημα εδώ εκτός της ακρίβειας φυσικά, είναι η ελαχιστοποίηση των αντιστάσεων στον δρόμο του σήματος (συγκρίνετε την θέση «4» του εξασθενητή στο σχήμα 3, όπου το σήμα διέρχεται από τρεις αντιστάσεις), άρα η δυνατότητα να ελαχιστοποιηθεί ο θόρυβος. Η σωστή επιλογή των ζευγών κάθε διαιρέτη, επιτρέπει επίσης να διατηρηθεί σταθερή η αντίσταση εισόδου του. Ένα μειονέκτημα σε σχέση με τον εξασθενητή «σειράς» είναι ότι απαιτεί την ύπαρξη δύο επαφών στο δρόμο του σήματος.

Τέλος, σπάνιος είναι ο παράλληλος εξασθενητής (shunt) που φαίνεται στο σχήμα 5. Εδώ, διατηρείται η αντίσταση εισόδου σταθερή και μεταβάλλεται η αντίσταση στον κλάδο προς τη γη του διαιρέτη. Ο στόχος της προσέγγισης αυτής είναι να διατηρηθεί ο ελάχιστος αριθμός αντιστάσεων άρα και ο θόρυβος (πλεονέκτημα του ladder) καθώς επίσης και η μία κινούμενη ηλεκτρική επαφή και το χαμηλότερο κόστος (αμφότερα πλεονεκτήματα του εξασθενητή σειράς). Ωστόσο, η αντίσταση εισόδου που παραμένει σταθερή, πρέπει να επιλεγεί μεγάλη σε τιμή, ώστε να μην επηρεάζεται πολύ η συνολική αντίσταση, η οποία ούτως ή άλλως είναι μεταβλητή κάτι που δημιουργεί κάποια προβλήματα (γενικά στοχεύουμε σε μικρές αντιστάσεις εισόδου ενός εξασθενητή γιατί αυτές δίνουν τις καλύτερες επιδόσεις στην λειτουργία του και την καλύτερη συμπεριφορά του στις διάφορες θέσεις του)

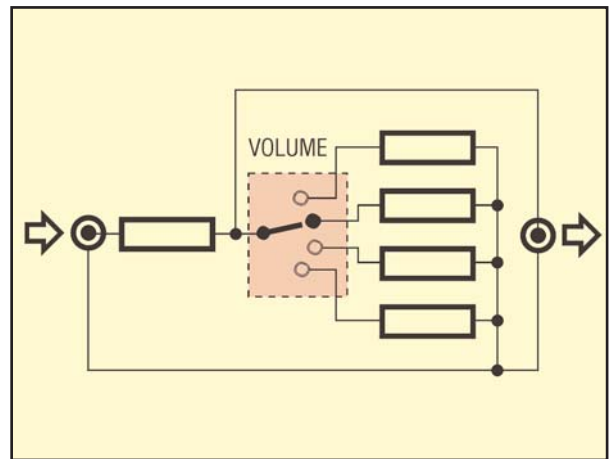
Η ρύθμιση της τονικότητας (bass/treble)

Η ρύθμιση τονικότητας έχει τις ρίζες της στην παλιά-κακή εποχή της ηλεκτροακουστικής όταν το φάσμα και περιορισμένο ήταν και γεμάτο με θορύβους που δεν ήταν επιθυμητοί. Τότε, ήταν μία καλή ιδέα να επεμβαίνει κανείς με κάποιο ρυθμιστικό και να ισοσταθμίζει απώλειες

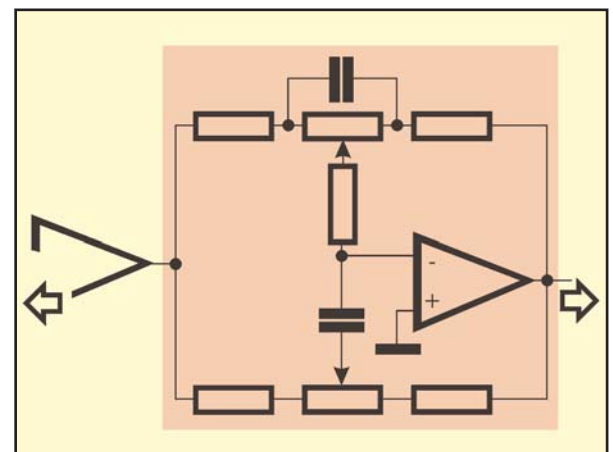
Σχήμα 4. Αντίθετα, ο εξασθενητής κλίμακας είναι πιο πολύπλοκος, προσφέροντας έναν ξεχωριστό διαιρέτη τάσης ανά θέση. Η προσέγγιση αυτή είναι προφανώς ακριβότερη λόγω του μεγαλύτερου αριθμού υλικών (αντιστάσεων και επιλογέων) αλλά μπορεί να εξασφαλίσει χαμηλότερο θόρυβο.



Σχήμα 5. Ο παράλληλος εξασθενητής αποτελεί μία έξυπνη προσπάθεια συμβιβασμού ανάμεσα στους εξασθενητές σειράς και κλίμακας, προσφέροντας την δυνατότητα για χαμηλό θόρυβο του δεύτερου και τις μικρότερες απώλειες και την οικονομία του πρώτου. Όχι ότι δεν έχει μειονεκτήματα, βέβαια....

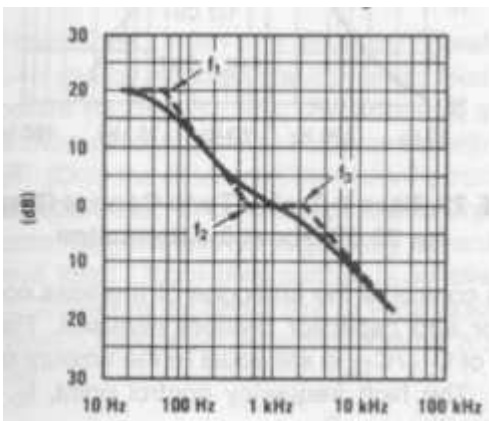


Σχήμα 6. Μία από τις συνηθισμένες παραλλαγές της τοπολογίας του P.J Baxandall για την ρύθμιση της τονικότητας (Bass/Treble). Το κύκλωμα περιλαμβάνει έναν ενισχυτή του οποίου η απόκριση συχνότητας ρυθμίζεται μέσω δύο φίλτρων στον βρόγχο αρνητικής ανάδρασης. Ο Hood, αργότερα, βελτίωσε την ιδέα προτείνοντας ένα σχέδιο που προέβλεπε αλλαγή των χαρακτηριστικών των φίλτρων με αλλαγή κάποιων εξαρτημάτων.

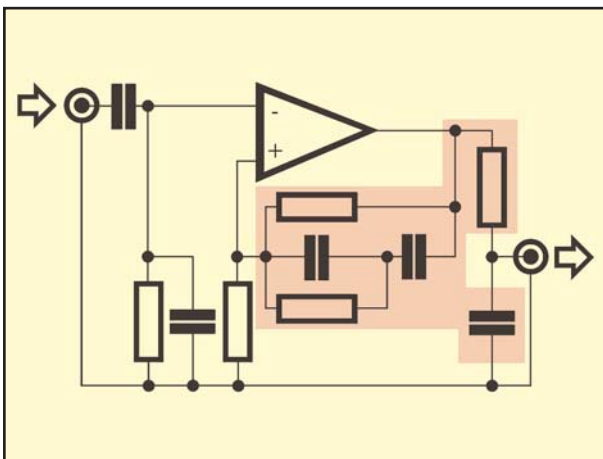


ή να εξασθενεί κάποιες περιοχές. Διάφορα σχήματα έχουν προταθεί κατά καιρούς με περισσότερο ενδιαφέρον το κύκλωμα του P.J. Baxandall του οποίου η πρώτη μορφή εμφανίστηκε το 1952 και έκτοτε έχει κυκλοφορήσει σε αρκετές παραλλαγές, μία των οποίων φαίνεται στο σχήμα 6. Το κύκλωμα αυτό, είναι στην ουσία ένα δικτύωμα αρνητικής ανάδρασης

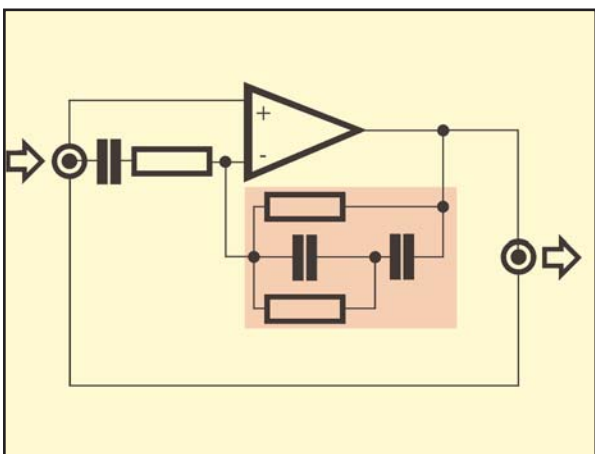
Σχήμα 7. Η καμπύλη αποέμφασης έχει μία μορφή η οποία καθορίζεται από τις διακεκομμένες ευθείες του σχήματος. Τα σημεία αλλαγής της κλίσης (f_1, f_2, f_3) αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες χρονικές σταθερές. Ως στάθμη αναφοράς 0dB χρησιμοποιούμε κατόπιν σύμβασης την στάθμη στο 1kHz. Η συγκεκριμένη καμπύλη ΔΕΝ περιλαμβάνει την πρόταση της IEC.



Σχήμα 8. Κύκλωμα αποέμφασης RIAA με ανάδραση σειράς.



Σχήμα 9. Κύκλωμα αποέμφασης RIAA με παράλληλη ανάδραση.



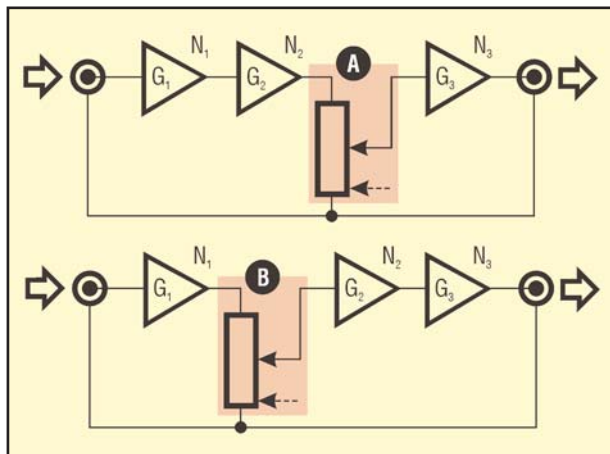
(γύρω από ένα ενισχυτικό στάδιο) του οποίου η συμπεριφορά στο φάσμα ελέγχεται μέσω των δύο ρυθμιστικών. Το καλό με την ιδέα του Baxandall είναι ότι με τα ρυθμιστικά στην μέση, το κύκλωμα δεν προσφέρει κέρδος ή εξασθένηση σε καμία συχνότητα (συχνά χρησιμοποιούνται ποτενσιόμετρα με «κλικ» στο κέντρο) και επιπρόσθετα η ρύθμιση του ενός κλάδου δεν επηρεάζει την συμπεριφορά του άλλου. Μία από τις πλέον ενδιαφέρουσες παραλλαγές του κυκλώματος παρουσιάστηκε το 1973 από τον J.L.Hood και περιελάμβανε διακόπτες για την επιλογή των σημείων επίδρασης και των κλίσεων του κάθε κλάδου. Σήμερα, η παρουσία ρυθμιστικών τόνου είναι περισσότερο τυπική παρά χρήσιμη καθώς η φασματική συμπεριφορά τόσο του συστήματος αναπαραγωγής όσο και αυτή των συστημάτων ηχογράφησης είναι μακράν καλύτερη και δεν απαιτεί τέτοιου είδους διορθώσεις. Ο μοναδικός λόγος χρήσης τους είναι για «πυροσβεστική» διόρθωση σοβαρών προβλημάτων ακουστικής του χώρου. Σε κάθε περίπτωση, να θυμάστε ότι στα άκρα του, ένα τυπικό ρυθμιστικό τονικότητας (χαμηλών ή υψηλών συχνοτήτων) μπορεί να προσφέρει ενίσχυση ή εξασθένηση κατά 12 ή και περισσότερα dB. Αυτή είναι μία τιμή εξωφρενικά υψηλή! Αν κάνετε διορθώσεις οι τιμές στις οποίες πρέπει να στοχεύετε δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερες των 3-4dB -και πάλι πολλά λέμε...

Προενισχυτές phono

Σε μία εποχή όπου πραγματικά η τεχνολογία των πλατό και των κεφαλών έχει φτάσει στο αποκορύφωμα, το βινύλιο είναι πιο επίκαιρο από ποτέ (από την άποψη των audiophile ακροάσεων). Ως εκ τούτου, το ενισχυτικό στάδιο της φωνογραφικής κεφαλής έχει την σημασία του, που μπορεί να είναι καθοριστική. Κατά πολλούς, είναι εκείνο που κρίνει την ποιότητα ενός προενισχυτή και πράγματι, τόσο από σχεδιαστικής απόψεως (απαιτούνται τεχνικές χαμηλού θορύβου) όσο και από

την επίδραση στον ήχο (του βινυλίου βεβαίως) ο προενισχυτής της φωνογραφικής κεφαλής είναι εξαιρετικά απαιτητικός. Οι αποστολές του είναι τρεις: Πρώτον να φορτίζει σωστά την κεφαλή, με την αντίσταση και την χωρητικότητα την οποία προβλέπει ο κατασκευαστής της. Δεύτερον να ενισχύει το πολύ χαμηλό σήμα της με τον μικρότερο δυνατό θόρυβο και τρίτον, να εφαρμόζει στο σήμα την καμπύλη αποέμφασης RIAA. Η καμπύλη αυτή προτάθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 60, από την βιομηχανία παραγωγής ηχογραφήματων και προέβλεπε την μείωση της στάθμης των χαμηλών συχνοτήτων κατά την εγγραφή του δίσκου, ώστε να μειωθεί το πλάτος του ίχνους άρα να αυξηθεί ο διαθέσιμος χρόνος κάθε πλευράς του δίσκου, και την αύξηση της στάθμης των υψηλών συχνοτήτων ώστε κατά την αναπαραγωγή, κατά την αντίστροφη διαδικασία, να μειώνεται ο θόρυβος επιφανείας του βινυλίου. Η καμπύλη αποέμφασης, δηλαδή η διαδικασία ενίσχυσης των χαμηλών συχνοτήτων και εξασθένησης των υψηλών, πραγματοποιείται κατά την αναπαραγωγή του δίσκου και πρέπει, βεβαίως να είναι εξαιρετικά ακριβής.

Τα χαρακτηριστικά της καμπύλης αυτής καθορίζονται από τρεις χρονικές σταθερές (που αντιστοιχούν σε γινόμενα RC των αντίστοιχων φίλτρων) που είναι οι 3180μS (50,05Hz), 318μS (500,5Hz) και 75μS (2122Hz). (Σχήμα 7) Σχετικώς πρόσφατα η IEC βελτίωσε την αρχική προδιαγραφή προσθέτοντας μία συχνότητα αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων, τα 20Hz (7950μS) ώστε να ελαχιστοποιούνται οι θόρυβοι από το σκέβρωμα των δίσκων. Σε κορυφαίες σχεδιάσεις, η «πρόταση» της IEC μπορεί να ενεργοποιείται κατόπιν επιλογής του χρήστη. Η υλοποίηση της αποέμφασης σε έναν προενισχυτή μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Είτε «αναθέτοντας» κάθε χρονική σταθερά σε ένα ξεχωριστό φίλτρο (που θα απομονώνεται βεβαίως από τα άλλα με κάποιο buffer) είτε υλοποιώντας την καμπύλη μέσω ενός δικτύωματος ανάδρασης. Η δεύτερη και πιο συνήθης επιλογή έχει δύο εκδόσεις που φαίνονται Σχήμα 10. Σε έναν προενισχυτή πολλών σταδίων, η θέση του ρυθμιστικού εξασθένησης είναι σημαντική. Όσο εγγύτερα είναι αυτό στην έξοδο, τόσο μικρότερο μη ελεγχόμενο θόρυβο θα έχουμε στην έξοδο. Ωστόσο, οι απαιτήσεις μας για τα ενισχυτικά στάδια πριν το ρυθμιστικό αυξάνουν.



στα αντίστοιχα σχήματα.

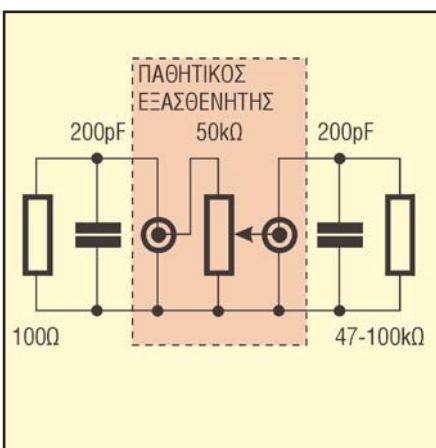
Η έκδοση με ανάδραση «σειράς» η οποία φαίνεται στο σχήμα 8 επιτρέπει την ακριβή επιλογή της αντίστασης φορτίου της κεφαλής και έχει το μειονέκτημα της αύξησης του θορύβου στις υψηλές συχνότητες. Η αποέμφαση υλοποιείται από το δικτύωμα των δύο αντιστάσεων και των δύο πυκνωτών στην ανάδραση του τελεστικού ενισχυτή, ενώ η αντίσταση πριν την έξοδο και ο πυκνωτής προς την γη, εξασφαλίζουν μία διόρθωση σε ένα σφάλμα εγγενές της ανάδρασης σειράς. Η έκδοση με παράλληλη ανάδραση φαίνεται στο σχήμα 9. Εδώ, ο θόρυβος μειώνεται καθώς η συχνότητα αυξάνεται, και λόγω της ανάδρασης δεν απαιτείται διορθωτικό κύκλωμα στην έξοδο. Ανάμεσα στις δύο τοπολογίες, υπάρχει διαφορά ως προς την συμπεριφορά σε θέματα θερμικού θορύβου στο φάσμα. Η συνήθης επιλογή, είναι αυτή του σχήματος 7 επειδή έχει καλύτερα χαρακτηριστικά στην ανώτερη μεσαία, μεσαία, χαμηλομεσαία και χαμηλή περιοχή.

Υπερφόρτωση (Overload)

Ενας προενισχυτής αποτελείται από μία σειρά ενισχυτικών σταδίων. Το κάθε στάδιο έχει κάποιο κέρδος, πολλαπλασιάζει δηλαδή την στάθμη εισόδου του με κάποιο αριθμό και το εμφανίζει στην έξοδο. Αυτό βεβαίως ακούγεται απλό, στην πράξη όμως τα πράγματα περιπλέκονται...

Ο τυπικός προενισχυτής είναι ουσιαστικά ένας ενισχυτής τάσης, οπότε εδώ δεν μας απασχολούν θέματα ισχύος. Μας απασχολεί όμως κάτι διαφορετικό. Η πρόβλεψη που πρέπει να κάνουμε για το σήμα εισόδου. Μία τυπική φωνογραφική κεφαλή κινητού μαγνήτη (ας πούμε με ευαισθησία 3,5mV, στο 1kHz/5cm/sec) μπορεί, θεωρητικά να «βγάλει» σε ορισμένους δίσκους μέχρι και 10mV ή και παραπάνω! Υποθέστε, τώρα ότι εμείς έχουμε στην διάθεσή μας έναν στοιχειώδη προενισχυτή ο οποίος πρέπει να οδηγήσει έναν τελικό με ευαισθησία 1V (για την μέγιστη ισχύ). Ποιό θα πρέπει να είναι το κέρδος του προενισχυτή μας;

Σχήμα 11. Ενας παθητικός εξασθενητής «βλέπει» στην είσοδό του την χωρητικότητα των καλωδίων από την πηγή και την αντίσταση εξόδου της πηγής και στην έξοδό του την χωρητικότητα των καλωδίων προς τον τελικό και την αντίσταση εισόδου του τελικού



Αποφασίζοντας να είμαστε συντηρητικοί ακουούμεθα ο τελικός να οδηγείται σε πλήρη ισχύ για είσοδο κάτι λιγότερο από την ευαισθησία της κεφαλής μας, στα 3mV, άρα το στάδιο προενισχυσης πρέπει να έχει κέρδος $(20 \log(1000/3))$ 50,45dB. Το 1Vrms στην έξοδο του προενισχυτή αυτού σημαίνει τάση κορυφής 1.41V, δηλαδή τάση εξόδου από κορυφή σε κορυφή κάτι λιγότερο από τρία βόλτ! Αρα μία τροφοδοσία 3V αρκεί. Δύο μπαταρίες AA και καθαρίσαμε! Το πρόβλημα βέβαια, είναι τα γεγονότα μετά από την αγορά ενός δίσκου τύπου «1812» (όσοι έχουν τον γνωστό δίσκο της Telarc μπορούν να δούν την διαμόρφωση στο αυλάκι με γυμνό μάτι!) οπότε ξαφνικά η κεφαλή μας παράγει 10mV στην έξοδο. (Είναι αυτό εφικτό; είναι! (*)). Ο ενισχυτής μας των 50+ dB πολλαπλασιάζει τα 10mV επί 333 οπότε η έξοδος θα πρέπει να είναι 3,3Vrms ήτοι 4,7V κορυφής ή 9,4V από κορυφή σε κορυφή. Μάλλον εκείνες οι μπαταρίες δεν θα φτάσουν... Στο συγκεκριμένο και κάπως τραβηγμένο αυτό παραδείγμα, ο ενισχυτής για να αποδώσει τα δεόντα χωρίς να ψαλιδίσει το σήμα στην έξοδο, θα έπρεπε να έχει λόγο υπερφόρτωσης x3 με άλλα λόγια να έχει ένα σεβαστό τροφοδοτικό! Το πρόβλημα γίνεται πιο σύνθετο και πιο πραγματικό όταν μιλάμε για ενισχυτές πολλαπλών σταδίων. Εδώ, κάθε στάδιο θα πρέπει να αντέχει στην υπερφόρτωση που του επιφυλάσσει το προηγούμενο, κι όλα αυτά χωρίς να ξέρει ο σχεδιαστής τι ακριβώς θα συνδέσει ο χρήστης στην είσοδο! Για τους λόγους αυτούς τείνουμε να χαϊρώμαστε όταν μία σχεδίαση έχει τροφοδοσία με υψηλές τάσεις ή όταν ο κατασκευαστής ανακοινώνει ότι η μέγιστη τάση εξόδου του προενισχυτή του είναι (ας πούμε) 10Vrms, ενώ βεβαίως είναι ελάχιστοι οι τελικοί ενισχυτές που θα ζητήσουν πολύ πάνω από 1Vrms για πλήρη ισχύ. Φυσικά, με αυτή την λογική κάθε επόμενο ενισχυτικό στάδιο θα έπρεπε να λειτουργεί κάτω από υψηλότερες τάσεις. Ωστόσο εδώ βοηθά το ρυθμιστικό στάθμης, το οποίο και μας φέρνει στο σχήμα 10. Εκεί υπάρχει ένας προενισχυτής τριών σταδίων κάθε ένα από τα οποία έχει κέρδος G και δημιουργεί έναν θόρυβο N. Η θέση του ρυθμιστικού μέσα στο συνολικό κύκλωμα έχει την σημασία της. Όσο δεξιότερα στο σχήμα τοποθετηθεί, δηλαδή όσο πιο κοντά στην έξοδο, όπως στην εκδοχή «Α», τόσο μικρότερος θόρυβος εμφανίζεται στην έξοδο για μικρές στάθμες. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, μόνο το τρίτο στάδιο συμμετέχει στον θόρυβο που λαμβάνει ο τελικός, σε μία υποθετική κατάσταση κατά την οποία το ρυθμιστικό εξασθενεί πλήρως το σήμα από τα προηγούμενα στάδια. Στην εκδοχή «Β», έχουμε το άθροισμα των θορύβων από δύο στάδια. Βεβαίως, τίποτε δεν γίνεται δωρεάν. Η εκδοχή «Α» απαιτεί δύο στάδια με μεγάλα περιθώρια υπερφόρτωσης (αφού δεν υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης της στάθμης, οπότε οφείλουμε να είμαστε σίγουροι) ενώ η εκδοχή «Β» μόνο ένα. Το σχήμα προσφέρει δύο διδάγματα: Πρώτον ένας προενισχυτής με εξαιρετικά περιθώρια υπερφόρτωσης, δηλαδή ισχυρό τροφοδοτικό κατά βάση, και το ρυθμιστικό στάθμης όσο το δυνατόν εγγύτερα στην έξοδο, έχει

λόγους να είναι καλύτερος, από έναν αναμικό προενισχυτή που για λόγους ασφαλείας έχει το ρυθμιστικό στάθμης κοντά στην είσοδο. Δεύτερον αν έχετε δύο προενισχυτές σε σειρά με ρυθμιζόμενη εξασθένιση(για παράδειγμα έναν εξωτερικό phono και έναν line) προσπαθείστε, όσο αυτό είναι δυνατόν, να ρυθμίσετε την συνολική στάθμη με το δεύτερο σε σειρά ρυθμιστικό, έχοντας το πρώτο στην μικρότερη δυνατή εξασθένιση. Ετσι, μειώνετε τον αριθμό των ενισχυτικών σταδίων που τροφοδοτούν με θόρυβο σταθερής στάθμης τον τελικό ενισχυτή στα χαμηλά περάσματα.

Παθητικοί (passive) Προενισχυτές

Προενισχυτής και «παθητικός» βεβαίως, δεν γίνεται. Ενας παθητικός προενισχυτής είναι στην ουσία ένας απλός εξασθενητής/δρομολογητής, δηλαδή μία συσκευή που περιλαμβάνει επιλογείς εισόδων και εγγραφή καθώς και έναν εξασθενητή για την ρύθμιση της στάθμης. Ο παθητικός προενισχυτής έχει το βασικό πλεονέκτημα της απλότητας, αφού δεν περιλαμβάνει τροφοδοτικό και ενεργά στάδια, άρα δεν μπορεί να εισάγει μη γραμμικές παραμορφώσεις (THD και IMD). Μία συνήθης τεχνοοικονομική επιλογή είναι η επένδυση ενός σημαντικού μέρους του κόστους ενός αντίστοιχου active προενισχυτή σε ένα κορυφαίο ρυθμιστικό στάθμης και σε κορυφαία εσωτερική καλωδίωση. Ωστόσο, ο παθητικός προενισχυτής δεν είναι άμοιρος προβλημάτων, το κυριώτερο των οποίων είναι η απουσία απομόνωσης ανάμεσα στην πηγή και τον τελικό ενισχυτή. Το σχήμα 11, μάλιστα, δείχνει ότι η κατάσταση είναι ακόμη πιο δυσχερής. Εδώ, φαίνεται η κατάσταση που υφίσταται ανάμεσα σε μία πηγή και έναν τελικό ενισχυτή όταν παρεμβληθεί ένας παθητικός εξασθενητής. Θεωρώντας ότι τα καλώδια σύνδεσης έχουν μόνο μία παρασιτική χωρητικότητα (αυτήν λόγω της μόνωσης που δρά ως διηλεκτρικό) και μηδενική ομική αντίσταση και ότι τόσο η πηγή όσο και ο τελικός αλλά και ο ίδιος ο εξασθενητής δεν έχουν παρασιτικές χωρητικότητες, το κύκλωμα που προκύπτει είναι ήδη αρκετά σύνθετο για να θεωρηθεί ότι δεν έχει επίδραση, και μάλιστα μεταβλητή ανάλογα με την θέση του εξασθενητή. Η ουσία είναι ότι ο παθητικός ενισχυτής είναι κατά περίπτωση μία κορυφαία επιλογή, υπό την προϋπόθεση ότι τόσο η πηγή και ο τελικός όσο και τα καλώδια σύνδεσης είναι απολύτως ελεγχόμενα, απαίτηση που δημιουργεί ούκ ολίγα προβλήματα.

(*) Μία αριθμητική προσέγγιση αυτού του υπολογισμού έχει ως εξής: ευαισθησία 3.5mV 1kHz/5cm/sec ισοδυναμεί με έξοδο 0,7mV σε ταχύτητα 1cm/sec. Με βάση την εργασία του J. Walton που δημοσιεύθηκε στο Wireless World το 1967, και πίνακα της οποίας αναδημοσίευσε ο J.L. Hood στο «The Art of Linear Electronics» σελ. 167, η μέγιστη στάθμη εγγραφής σε ένα αυλάκι δίσκου με ακτίνα 7,5cm -δηλαδή περίπου στην μέση- είναι περίπου 30dB με αναφορά το 1cm/sec. Μία υποθετική έξοδος 10mV ισοδυναμεί με στάθμη 23dB, άρα είναι εφικτή.

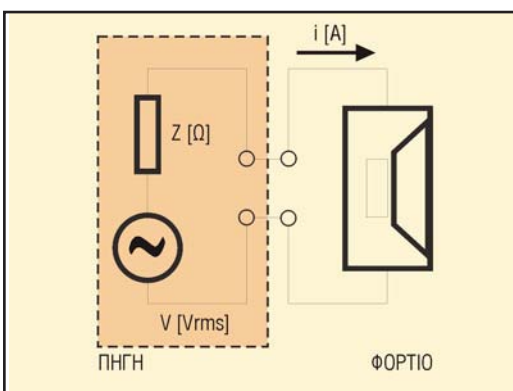
Αγοράζοντας Προενισχυτή

Η βάση στην επιλογή σας θα πρέπει να είναι, κατ' αρχήν, ο τυπικός έλεγχος για το αν ο υπό εξέταση προενισχυτής μπορεί να οδηγήσει σωστά τον τελικό που έχετε επιλέξει. Αρνητική απάντηση στο ερώτημα αυτό είναι σπάνια, φυσικά, αλλά καλού κακού, κοιτάξτε το. Το επόμενο βήμα σας είναι να εξετάσετε αν η συσκευή προσφέρει όλες τις απαραίτητες εισόδους και εξόδους για να υποστηρίξει όχι το σύστημα που έχετε μόνο, αλλά κυρίως το σύστημα που θα αποκτήσετε στο εγγύς μέλλον. Το «όλες» δεν πρέπει να εκληφθεί μόνο ως αριθμητικός προσδιορισμός αλλά και ως ποιοτικός. Για παράδειγμα, ελέγξτε αν υπάρχει ανάγκη για ισοροπημένες (balanced) συνδέσεις. Αν το υπόλοιπο συστήμα σας τις υποστηρίζει φροντίστε να κάνει το ίδιο και ο μελλοντικός προενισχυτής σας. Στη συνέχεια αποφασίστε για το αν θα πρέπει να διαθέτει είσοδο φωνογραφικής κεφαλής. Για λόγους που εξηγούνται στο κείμενο, η είσοδος αυτή, στοιχίζει, συχνά μάλιστα, περισσότερο από όλο τον υπολοιπο προενισχυτή. Αν η απάντησή σας είναι «ναι» φροντίστε να είναι ρυθμιζόμενη τόσο ως προς την ευαισθησία όσο και ως προς το φορτίο. Αν τέτοιες δυνατότητες ευελιξίας δεν σας ενδιαφέρουν ή δεν τις βρίσκετε ανάμεσα στους υποψήφιους προενισχυτές, φροντίστε απαραίτητα και χωρίς τον παραμικρό συμβιβασμό να φορτίζει σωστά την κεφαλή που ήδη έχετε ή αυτήν που θα αποκτήσετε. Ένα εξαιρετικό ρυθμιστικό στάθμης είναι προϋπόθεση για κορυφαίο ήχο (αλλά όχι εγγύηση, βεβαίως). Δυνατότητες για μεγάλες στάθμες εξόδου τέλος, σημαίνουν συνήθως μεγάλα περιθώρια υπερφόρτωσης και χαμηλό θόρυβο τροφοδοσίας, χαρακτηριστικά που ασφαλώς ανήκουν στα θετικά σημεία μίας συσκευής.

Τελικοί Ενισχυτές

Πίσω από την άσβεστη δίψα μας για βάρ βρίσκεται η πολύ μικρή απόδοση των ηχείων. Ως ηλεκτρομηχανικό σύστημα, το τυπικό ηχείο έχει έναν συντελεστή απόδοσης που είναι μάλλον από τους χειρότερους του γαλαξία. Μόλις το 10% (περίπου) της ηλεκτρικής ενέργειας που

Σχήμα 12. Μία πηγή σταθερής τάσης είναι μία ιδανική πηγή, η οποία είναι σε θέση να διατηρήσει την τάση στην έξοδο της ανεξάρτητα από τις απαιτήσεις του φορτίου σε ρεύμα. Επειδή τα ηχεία είναι μετατροπείς ρεύματος σε ακουστική πίεση, έχουμε από τον τελικό ενισχυτή την απαίτηση να συμπεριφέρεται ως πηγή σταθερής τάσης.



λαμβάνει μετατρέπεται σε ακουστική. Το 90% θερμαίνει (και ενίοτε λειώνει) τα εξαρτήματα του. Η μετατόπιση του κώνου ή του θόλου ενός μεγαφώνου απαιτεί την εφαρμογή μίας δύναμης. Μέσα στα μηχανικά όρια κίνησης του κώνου, η μετατόπιση αυτή είναι ανάλογη του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο του. Το ηχείο είναι μία συσκευή «ρεύματος». Αντιδρά δηλαδή γραμμικά στις μεταβολές του ρεύματος που το διαρρέει. Αν θέλουμε να διπλασιάσουμε την μετατόπιση του κώνου (για να αυξήσουμε την στάθμη) πρέπει να διπλασιάσουμε το ρεύμα μέσω του πηνίου του.

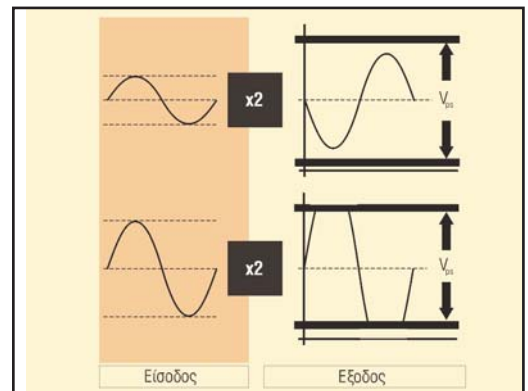
Ενας τυπικός προενισχυτής δεν είναι παρά μία διάταξη που πολλαπλασιάζει την τάση εισόδου επί έναν αριθμό (που τον ονομάζουμε κέρδος) και την εμφανίζει στην έξοδό του. Η ηλεκτρική ισχύς σχετίζεται με το ρεύμα και ο χειρισμός της ισχύος με διακόπτες καλώδια και επαφές -πόσο μάλλον με κυκλώματα- είναι ιδιαίτερα δαπανηρός αν αυτή ξεπεράσει κάποια όρια. (ως παράδειγμα, σκεφθείτε ότι το κόστος ενός καλού high end μηχανήματος είναι της ίδιας τάξης με αυτό ενός τριφασικού διακόπτη υψηλής ισχύος της ΔΕΗ, που απλώς... ανοιγοκλείνει με συχνότητα 0,0000003Hz -δηλαδή μία φορά το μήνα περίπου!) Ετσι, κάνουμε κάθε προσπάθεια να την ελαχιστοποιούμε μέσα στο συστήμα μας. Γι' αυτό, όλη η αλυσίδα των συσκευών χαρακτηρίζεται από υψηλές σύνθετες αντιστάσεις και σχεδόν μηδενικά ρεύματα (της τάξης των χιλιοστών του Ampere). Αλλά βεβαίως, σε κάθε χένη, φτάνει κάποια στιγμή και ένας κόμπος: Το ηχείο, δέκαρνα δε δίνει για τις δικές μας εναισθησίες. Το πηνίο ενός μεγαφώνου θέλει πολλά Amperes για να κινηθεί, όσο μάλιστα μεγαλύτερο και βαρύτερο είναι, τόσο περισσότερα θα μας ζητήσει. Ετσι ως ηλεκτρικό φορτίο έχει πολύ χαμηλή αντίσταση: Αν ένας τελικός ενισχυτής έχει αντίσταση εισόδου 100.000Ω τιμή που συνεπάγεται ότι για τάση εισόδου 10V θα ζητήσει 0.1mA (χιλιοστά του A) ένα ηχείο με αντίσταση 8Ω, για την ίδια τάση θα απαιτήσει 1.25A δηλαδή 12500 φορές περισσότερο ρεύμα! Η παρατήρηση αυτή οδηγεί στην πλήρη αποσαφήνιση του ρόλου ενός τελικού ενισχυτή: Είναι ένας ενισχυτής με κέρδος τάσης δηλαδή πολλαπλασιάζει την τάση εισόδου με κάποιο αριθμό και ταυτόχρονα ένας ενισχυτής ρεύματος. Κάνει δηλαδή έναν ακόμη πολλαπλασιασμό. Αυτόν του ρεύματος εισόδου με έναν άλλο αριθμό. Κι επειδή η ηλεκτρική ισχύς είναι γενικά το γινόμενο της τάσης επί το ρεύμα, είναι δίκαιο να θεωρήσουμε ότι

έχουμε να κάνουμε με έναν ενισχυτή ισχύος.

Η πηγή σταθερής τάσης

Αν μπορούσαμε να φτιάξουμε έναν τελικό ενισχυτή «by the book» αυτός θα ήταν μία πηγή σταθερής τάσης. Ενας τέτοιος ενισχυτής, υπάρχει μόνο στα βιβλία που ταλαιπωρούν τους φοιτητές του κλάδου, και είναι σε θέση να διατηρήσει σταθερή τάση στα άκρα μίας αντίστασης ανεξαρτήτως της τιμής της αντίστασης αυτής. Στο σχήμα 12 φαίνεται μία τέτοια πηγή η οποία συνοδεύεται πάντοτε από μία εσωτερική αντίσταση Z, (της οποίας τις επιπτώσεις θα εξετάσουμε στην συνέχεια). Ενας τέτοιος ενισχυτής με τάση εξόδου 1V θα άντεχε σε ένα φορτίο 1Ω, τροφοδοτώντας το με 1A (όπως προβλέπει ο νόμος του Ωμ) αλλά δεν θα είχε πρόβλημα να διατηρήσει το 1V αν το φορτίο γινόταν 0.5Ω (οπότε θα είχαμε ρεύμα 2A) και θα παρέμενε ακλόνητος αν το φορτίο γινόταν 0.25Ω (δηλαδή στα 4A) και πάει λέγοντας. Αυτό θυμίζει την απαίτησή μας από έναν ενισχυτή να διπλασιάζει την ονομαστική του ισχύ από τα 8Ω στα 4Ω και δεν είναι τυχαίο. Όσο πιο κοντά βρίσκεται ο τελικός στην επίδοση αυτή και μάλιστα για όσο περισσότερους υποδιπλασιασμούς, τόσο περισσότερο προσεγγίζει την πηγή σταθερής τάσης (να γνωρίζετε όμως, ότι ο κανόνας αυτός ισχύει για ενισχυτές χωρίς μετασχηματιστές στην έξοδο). Γιατί επιμένουμε στην δυνατότητα να αντέχει ο ενισχυτής μας σε κάθε λογική ή παράλογη αλλαγή της αντίστασης παρέχοντας το προβλεπόμενο ρεύμα; Γιατί είναι η σταθερότητα του ρεύματος που μας απασχολεί στο ηχείο. Σταθερό ρεύμα, σημαίνει σταθερή μετατόπιση των κώνων δηλαδή σταθερή ηχητική πίεση, ανεξάρτητη της αντίστασης του πηνίου φωνής (ή/και των φίλτρων). Και γνωρίζουμε, βέβαια, ότι αντίσταση αυτή αλλάζει με την συχνότητα. Αν ο ενισχυτής μας «γονατίσει» και δεν μπορεί να δώσει ρεύμα σε κάποια δεδομένη τιμή αντίστασης (δηλαδή σε κάποια συχνότητα) απλώς το ηχείο δεν θα αποδώσει την δέουσα ηχητική πίεση στην συχνότητα αυτή. Πίσω από την κατανόηση της λειτουργίας και των προβλημάτων στην υλοποίηση ενός καλού τελικού ενισχυτή υπάρχει η εξής απλή πρόταση: Ο τελικός ενισχυτής πρέπει ανά πάσα στιγμή να μπορεί να υποστηρίξει την τάση εξόδου του (η οποία υποαγορεύεται από την τάση στην είσοδό του και το κέρδος του) με το ανάλογο ρεύμα ώστε, με δεδομένη την αντίσταση του φορτίου να ικανοποιεί το

Σχήμα 13. Η τάση τροφοδοσίας του τελικού ενισχυτή καθορίζει την μέγιστη τάση που μπορεί αυτός να εμφανίσει στην έξοδό του. Με σταθερό συντελεστή ενίσχυσης, αν μία τάση εισόδου οδηγεί την έξοδο σε τάση έξω από τα όρια της τάσης τροφοδοσίας, η μορφή του σήματος δεν διατηρείται και έχουμε το φαινόμενο του clipping (ψαλιδισμού)



νόμο του Ohm.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν...

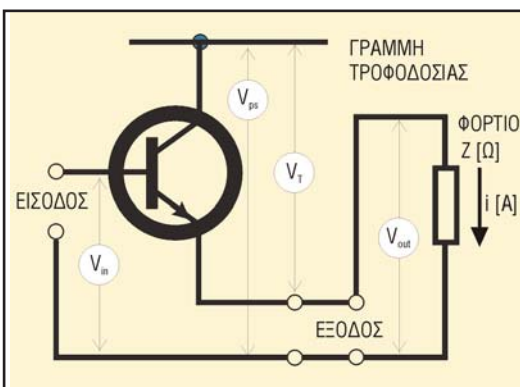
Πώς καθορίζονται οι δυνατότητες (και κατ' επέκτασιν τα όρια) ενός τελικού ενισχυτή; Από τρία -κυρίως- χαρακτηριστικά του: Την τάση τροφοδοσίας του, την θερμική αντοχή των ημιαγωγών του και την αντίσταση του δευτερεύοντος πηνίου του μετασχηματιστή του.

Η τάση τροφοδοσίας ενός ενισχυτή καθορίζει την μέγιστη τάση εξόδου που μπορεί αυτός να αποδώσει. Αφήνοντας προς στιγμήν έξω από τους υπολογισμούς μας το δυναμικό περιθώριο (dynamic headroom) στο οποίο θα αναφερθούμε σε άλλο σημείο, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η διακύμανση της τάσης εξόδου από κορυφή σε κορυφή, δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη της τάσης τροφοδοσίας. Πέραν του ορίου αυτού, επέρχεται το φαινόμενο του ψαλιδισμού. Η κυματομορφή εξόδου δεν μεταβάλλεται γραμμικά σε σχέση με την κυματομορφή εισόδου. (Σχήμα 13)

Η θερμική αντοχή των ημιαγωγών ισχύος, των εξαρτημάτων δηλαδή που ελέγχουν την τάση και το ρεύμα εξόδου δεν είναι βεβαίως άπειρη. Για δεδομένα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, όσο μεγαλύτερη είναι η τάση λειτουργίας τους, τόσο μικρότερο ρεύμα μπορεί να τους διαρρέει (γιατί οι θερμικές απώλειες εξαρτώνται από το γινόμενο της τάσης με το ρεύμα). Το σχήμα 14 δίνει μία εξήγηση. Η χρήση ακριβών εξαρτημάτων, συστοιχίων από πολλούς ημιαγωγούς (που μοιράζονται το ρεύμα της εξόδου) και μεγάλων ψυκτικών επιφανειών είναι βεβαίως λύσεις. Αλλά λύσεις ακριβές που θέτουν -επίσης- όρια.

Παρ' όλα αυτά, οι παραπάνω παρατηρήσεις θα έπρεπε λογικά να μας καθησυχάζουν. Αν θέλουμε μεγάλη ισχύ, θέλουμε κατ' αρχήν μεγάλη τάση και στην συνέχεια μεγάλη αντοχή σε θερμικές απώλειες. Αρα, με εξαίρεση την οικονομική πλευρά, τίποτε δεν μας εμποδίζει να φτιάξουμε μία πηγή σταθερής τάσης. Κι όμως. Όπως σε κάθε θεωρητικό μοντέλο έτσι κι εδώ υπάρχουν αποκλίσεις από την πραγματικότητα. Η

Σχήμα 14α. Σε αυτόν τον στοιχειώδη τελικό ενισχυτή (single ended, class A) η διακύμανση της τάσης εισόδου προκαλεί μία αντίστοιχη μορφή αλλά υψηλότερης τάσης διακύμανση στην έξοδο. Το ρεύμα που διαρρέει το φορτίο, διαρρέει και τον ημιαγωγό, επάνω στον οποίο υπάρχουν θερμικές απώλειες που θέτουν όρια στις δυνατότητες του σταδίου εξόδου.



τάση και το ρεύμα που καλούνται να ελέγξουν οι ημιαγωγοί εξόδου, προέρχονται από μία τροφοδοτική διάταξη. Στην πράξη, η διάταξη αυτή βρίσκεται σε σειρά με το φορτίο εξόδου αφού και τα δύο βρίσκονται στον ίδιο βρόγχο και διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα. Ωστόσο, απλές μετρήσεις θα δείξουν ότι η τάση του τροφοδοτικού ενός ενισχυτή μειώνεται όσο αυξάνεται το ρεύμα που αυτό παρέχει. Αυτό ισχύει σε όλες τις πηγές τάσης και οφείλεται στην εσωτερική αντίσταση της πηγής αυτής. Στην δική μας περίπτωση, ο βασικός υπεύθυνος είναι ο μετασχηματιστής. Το πόσο βυθίζεται η τάση (συνήθως κάποια βόλτ) εκφράζεται από μία παράμετρο που ονομάζεται Load Regulation (ρυθμισμό φορτίου) και μπορούμε να την γενικεύσουμε για το σύνολο της τροφοδοτικής διάταξης (περιλαμβάνοντας δηλαδή την ανορθωτική διάταξη και τους πυκνωτές εξομάλυνσης). Στην θεωρία, η σχεδίαση του ενισχυτή ξεκινά από το τροφοδοτικό: Με δεδομένη την απαιτούμενη ισχύ εξόδου,

προσδιορίζουμε τις ανάγκες σε τάση και στην συνέχεια σχεδιάζουμε ένα τροφοδοτικό, με τέτοια συμπεριφορά ώστε στην δυσμενέστερη πιθανή περίπτωση φορτίου να παρέχει επαρκή τάση. Αποτέλεσμα αυτής της προσέγγισης είναι σε γενικές γραμμές η τάση τροφοδοσίας, η οποία σημειωτέον φορτίζει και τους πυκνωτές εξομάλυνσης, να είναι για το μεγαλύτερο χρόνο υψηλότερη αυτής κάτω από μέγιστο φορτίο. Αυτό σημαίνει ότι στην κρίσιμη στιγμή έχουμε στη διάθεσή μας περισσότερη ενέργεια από αυτήν που στατικά μπορεί να παρέξει ο μετασχηματιστής. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από τους πυκνωτές εξομάλυνσης (οι οποίοι δρουν στιγμιαία ως συσσωρευτές, παράλληλα με το δευτερεύον του μετασχηματιστή και την ανορθωτική διάταξη, ενώ η βασική τους αποστολή είναι αποστολή βαθυπερατού φίλτρου) και είναι αυτός ο λόγος που ένας μεγάλος τελικός ενισχυτής έχει μεγάλη χωρητικότητα στο τροφοδοτικό του. Η δυνατότητα της πρόσθετης ισχύος σε στιγμιαία βάση, ονομάζεται «δυναμικό περιθώριο» (dynamic headroom).

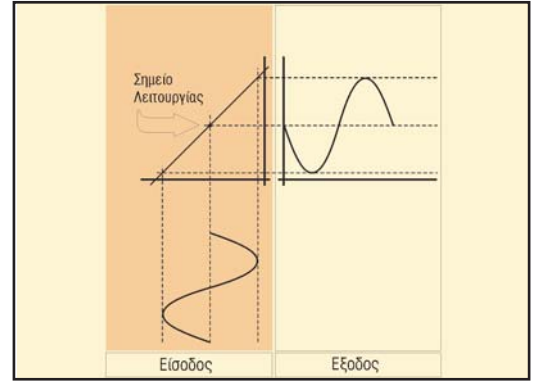
Από όλα τα παραπάνω, γίνεται προφανές το γιατί ένας καλός τελικός ενισχυτής είναι μεγάλος και βαρύς: Απαιτεί μεγάλο μετασχηματιστή (για μεγάλο load regulation), πολλούς πυκνωτές (για μεγάλο δυναμικό περιθώριο) πολλούς ημιαγωγούς και μεγάλες ψύκτρες και μείωση της θερμικής καταπόνησης. Αλλά, βεβαίως εκτός της τροφοδοτικής διάταξης υπάρχει και το υπόλοιπο κύκλωμα.

Δομή και Τάξεις Λειτουργίας

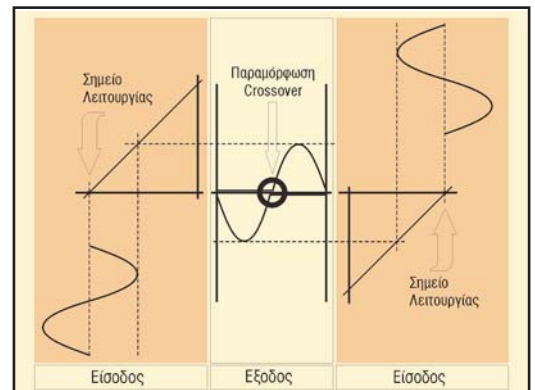
Η βασική λειτουργία ενός ενισχυτή ισχύος, η παροχή κέρδους σε τάση και σε ρεύμα

δηλαδή, υπαγορεύει την γενική δομή του η οποία περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα στάδια ενίσχυσης της τάσης και ένα στάδιο ενίσχυσης του ρεύματος που το ονομάζουμε στάδιο ισχύος.

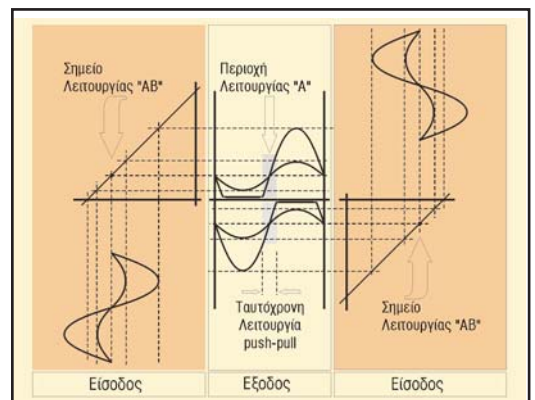
Σχήμα 15. Στην λειτουργία ενός σταδίου σε τάξη A, το σημείο λειτουργίας καθορίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε οι ημιαγωγοί εξόδου να λειτουργούν και στις θετικές και στις αρνητικές ημιπεριόδους του σήματος. Αυτό απαιτεί υψηλό ρεύμα ηρεμίας και μεγάλες θερμικές απώλειες, δηλαδή μικρό συντελεστή απόδοσης.



Σχήμα 16. Στην λειτουργία σε τάξη B, υπάρχουν δύο στάδια εξόδου κάθε ένα από τα οποία λειτουργεί σε μία ημιπερίοδο του σήματος. Η πόλωση των ημιαγωγών εξασφαλίζει ελάχιστες απώλειες αλλά καθώς το σήμα πλησιάζει τιμές πολύ κοντά στο 0, εμφανίζεται η παραμόρφωση διάβασης (crossover distortion).

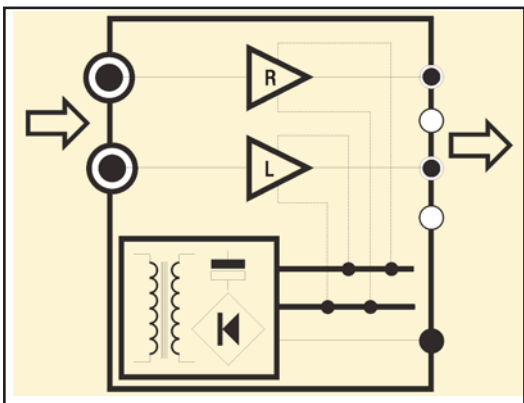


Σχήμα 17. Στην λειτουργία σε τάξη AB, χρησιμοποιούνται και πάλι δύο στάδια εξόδου αλλά τα σημεία λειτουργίας τους επιτρέπουν την επικάλυψη των περιοχών του σήματος που ενισχύουν καταργώντας έτσι την παραμόρφωση διάβασης. Για μικρά πλάτη σήματος το στάδιο εξόδου λειτουργεί ως στάδιο σε τάξη A (γκρί περιοχές, στο σχήμα)

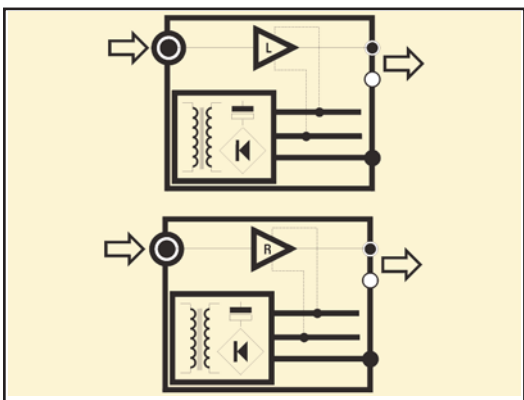


Εδώ κατά τα φαινόμενα έχουμε μόνο μία επιλογή: Αφού απαιτούμε ακρίβεια, ο ημιαγωγός μας (ή όλοι οι ημιαγωγοί του σταδίου εξόδου μας) πρέπει να λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια του σήματος. Αυτό

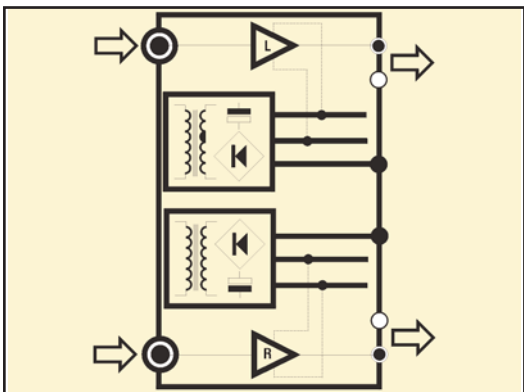
Σχήμα 18. Η τυπική αρχιτεκτονική ενός τελικού ενισχυτή περιλαμβάνει ένα τροφοδοτικό και για τα δύο (ή περισσότερα) κανάλια. Το τροφοδοτικό αυτό πρέπει να είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε η μέγιστη ισχύς σε συγκεκριμένη παραμόρφωση να επιτυγχάνεται με όλα τα κανάλια σε πλήρη λειτουργία. Το πόσο επηρεάζει η λειτουργία του ενός καναλιού τα υπόλοιπα εξαρτάται από το load regulation του τροφοδοτικού.



Σχήμα 19. Ο πλήρης διαχωρισμός των καναλιών ενός ενισχυτή σε επίπεδο τροφοδοσίας, ψυκτικών επιφανειών και περιβλήματος ελαχιστοποιεί τις αλληλεπιδράσεις αλλά αυξάνει σημαντικά το κόστος. Ένα σύστημα χρειάζεται τόσους ενισχυτές όσα τα κανάλια του.



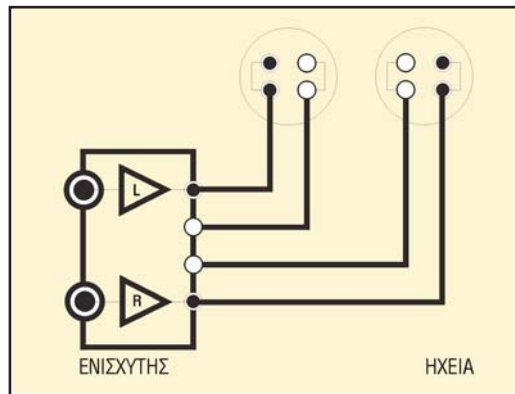
Σχήμα 20. Η αρχιτεκτονική dual mono περιλαμβάνει δύο τελικούς ενισχυτές με ξεχωριστά τροφοδοτικά και επιφάνειες ψύξης σε ένα κοινό περίβλημα. Κάποιες σχεδιάσεις προβλέπουν και διαφορετική σύνδεση με το δίκτυο τροφοδοσίας για κάθε κανάλι.



σημαίνει ότι το ρεύμα ηρεμίας πρέπει να είναι το λιγότερο, το μισό του συνολικού ρεύματος που θα ελέγξει ο ημιαγωγός! (Αυτό στην πράξη σημαίνει ότι η έξοδος του κυκλώματος «σηκώνεται» σε τέτοια απόσταση από τα 0V ώστε να μπορεί να υπάρξει η μέγιστη δυνατή διακύμανση της τάσης εξόδου -δείτε και το Σχήμα 15). Με την γλώσσα των αριθμών (και με κάποιες απλοποιήσεις), ένας τέτοιος ενισχυτής με ισχύ 200W/8Ω που με τροφοδοσία 40V αποδίδει 5A στο φορτίο, πρέπει να έχει ρεύμα ηρεμίας 2.5A, δηλαδή απώλειες στους ημιαγωγούς του 100W, όταν δεν υπάρχει τάση εισόδου! Αυτό σημαίνει πολύ μικρό συντελεστή απόδοσης, τεράστιες ψύκτρες, μεγάλες θερμικές απώλειες, και βεβαίως μικρή ισχύ για το κόστος του. Αυτό το στάδιο εξόδου είναι το αρχέτυπο του ενισχυτή ισχύος και ονομάζεται τάξης «Α». Με τόσο χαμηλή απόδοση των σταδίων τάξης «Α» είναι λογικό το ότι αναζητήθηκαν εναλλακτικοί τρόποι λειτουργίας. Ένας τέτοιος είναι η τάξη «B». Εδώ, επιλέγουμε ρεύμα ηρεμίας πολύ μικρό, τέτοιο που επιτρέπει στον ημιαγωγό μας να δουλέψει μόνο για την μία ημιπερίοδο του σήματος. (πρακτικά η έξοδος του κυκλώματος μπορεί να κινηθεί μόνο προς μία κατεύθυνση, αυτήν της αντίστοιχης τάσης τροφοδοσίας). Αυτό μπορεί βεβαίως να ελαχιστοποιεί τις απώλειες αλλά δημιουργεί ένα θέμα: Τι γίνεται με την άλλη ημιπερίοδο του σήματος; Αυτή την αναλαμβάνει ένας άλλος ημιαγωγός αντίθετης πολικότητας δίνοντας έτσι στο στάδιο ισχύος την μορφή ενός push-pull. Αφού διευκρινίσουμε ότι η συνδεσμολογία push-pull είναι υποχρεωτική στην τάξη «B» (και «AB», όπως θα δούμε) δεν είναι όμως ούτε υποχρεωτική ούτε και απαγορευμένη στην τάξη «A», αξίζει να δούμε γιατί η τάξη «B» δεν είναι δημοφιλής: Αυτό, πράγματι, συμβαίνει επειδή υπάρχει μία περιοχή του σήματος όπου κανένας από τους δύο ημιαγωγούς δεν λειτουργεί. Η περιοχή αυτή είναι στην περιοχή των πολύ μικρών τιμών του σήματος, κοντά στα «0» V και εκεί δημιουργείται η περίφημη παραμόρφωση «διάβασης» ή crossover. (Σχήμα 16) Η λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η τοποθέτηση του σημείου λειτουργίας σε τέτοια τιμή ώστε ο κάθε ημιαγωγός του push-pull να λειτουργεί για χρόνο μεγαλύτερο της

ημιπεριόδου του σήματος. Αυτό σημαίνει ότι η έξοδος του κυκλώματος μπορεί να κινηθεί προς την τάση τροφοδοσίας του για ολοκληρή την ημιπερίοδο και προς την αντίθετη φορά για ένα μικρό κομμάτι της άλλης ημιπεριόδου, επικαλύπτοντας έτσι το «ζεγύρι» του. Αυτή η τάξη λειτουργίας είναι η «AB». Η επικάλυψη των ημιπεριόδων λόγω της επιλογής του

Σχήμα 21. Η απλούστερη σύνδεση μεταξύ τελικού ενισχυτή και ηχείων αποτελείται από ένα ζεύγος διπολικών καλωδίων, ένα για κάθε ηχείο. Αν το ηχείο προσφέρει δυνατότητα διπλοκαλωδίωσης, τότε σε αυτή την απλή σύνδεση χρησιμοποιούνται ειδικοί βραχυκυκλωτήρες.



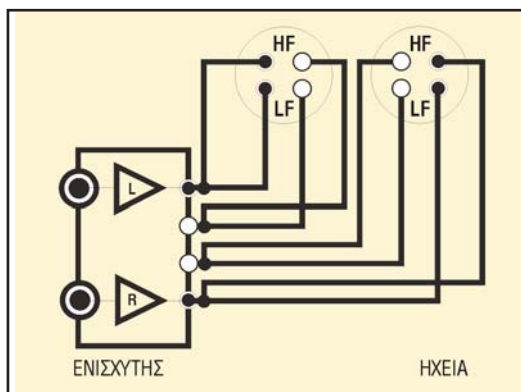
σημείου λειτουργίας εξηγεί την περιεργή τάξη μερικών κατασκευαστών να σχεδιάζουν ενισχυτές που δίνουν και «μερικά βατάκια» σε τάξη «A». Ένα push-pull «AB» λειτουργεί κατ' ανάγκη σε τάξη «A» για μικρά πλάτη σήματος! (Σχήμα 17)

Stereo, Mono, Dual Mono

Το τροφοδοτικό και το ενισχυτικό κύκλωμα είναι άρρηκτα συνδεδεμένα μεταξύ τους μέρη της συνολικής συσκευής. Κατά την σχεδίαση ενός τελικού ενισχυτή προκύπτει το ερώτημα της τροφοδότησης δύο και πλέον καναλιών, καθώς επίσης και της τροφοδότησης των επιμέρους τμημάτων του κάθε καναλιού.

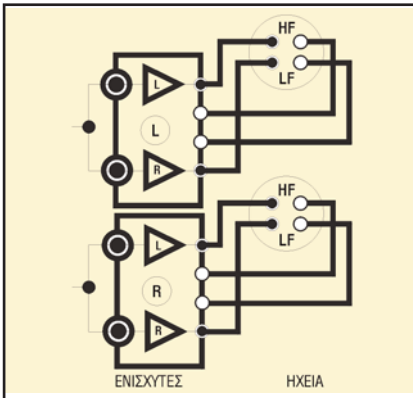
Όσον αφορά στο δεύτερο, τα στάδια

Σχήμα 22. Στην διπλοκαλωδίωση χρησιμοποιούνται τέσσερα διπολικά καλώδια, δύο για κάθε ηχείο. Κάθε καλώδιο μεταφέρει το σύνολο του σήματος το οποίο στην συνέχεια περνά μέσα από το αντίστοιχο φίλτρο. Τα καλώδια για κάθε ηχείο συνδέονται παράλληλα στην έξοδο του ενισχυτή. Κάποιοι ενισχυτές προσφέρουν και μία δεύτερη ομάδα ακροδεκτών για να διευκολύνουν τις συνδέσεις.



ενίσχυσης τάσης δεν υπάρχει λόγος να εξαρτώνται αποκλειστικά από την σταθερότητα της τάσης τροφοδοσίας (που είδαμε ότι μειώνεται σε συνθήκες οριακού φόρτου). Επειδή το ρεύμα που απαιτούν είναι μικρό είναι οικονομικώς εφικτό να τροφοδοτηθούν από μία ξεχωριστή σταθεροποιημένη γραμμή. Όσον αφορά το σύνολο του κάθε καναλιού, έχουμε τις εξής εναλλακτικές επιλογές:

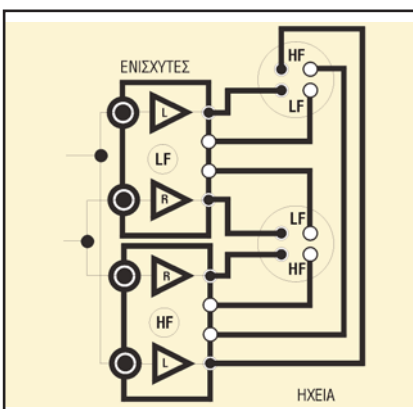
Πρώτον να τροφοδοτηθούν και τα δύο κανάλια από ένα κοινό τροφοδοτικό, υπολογισμένο φυσικά λαμβάνοντας υπ' όψιν *Σχήμα 23. Στην κάθετη διενίσχυση ένας στερεοφωνικός ενισχυτής οδηγεί ένα ηχείο, με το κάθε κανάλι να τροφοδοτεί έναν κλάδο συχνοτήτων.*



έναν ποσοστό ταυτοχρονισμού στις συνθήκες υπερφόρτωσης. Γι αυτό άλλωστε στους δικαναλικούς και πολυκαναλικούς τελικούς, απαιτείται ταυτόχρονη απόδοση της ονομαστικής ισχύος σε όλα τα κανάλια. Σε μία τέτοια επιλογή είναι αναπόφευκτο το ένα κανάλι να επηρεάζει το άλλο, σε βαθμό που εξαρτάται από τις δυνατότητες του μετασχηματιστή και των πυκνωτών. (*Σχήμα 18*)

Η δεύτερη επιλογή είναι να διαχωρίσουμε πλήρως τα κανάλια τόσο ως προς το τροφοδοτικό όσο και ως προς τις επιφάνειες ψύξης και το ίδιο το περίβλημα. Το αποτέλεσμα είναι, φυσικά, ένας μονοκαναλικός ενισχυτής από τον οποίο θα χρειαστούμε τόσα κομμάτια όσα τα κανάλια που έχει το σύστημά μας. Το κοινό σημείο των ενισχυτών αυτών είναι η γραμμή τροφοδοσίας του δικτύου και (εδώ ίσως χρειάζεται προσοχή για την αποφυγή

Σχήμα 24. Στην οριζόντια διενίσχυση ένας στερεοφωνικός ενισχυτής οδηγεί έναν κλάδο συχνοτήτων με το κάθε κανάλι να οδηγεί το αντίστοιχο ηχείο.



βρόγχου γείωσης) τα σημεία γείωσης ασφαλείας (του δικτύου) και αναφοράς (του προενισχυτή). (*Σχήμα 19*)

Η τρίτη επιλογή μας είναι μία οικονομική εκδοχή του μονοφωνικού ενισχυτή. Εδώ, σε ένα κοινό περίβλημα φιλοξενούνται δύο πλήρεις τελικοί ενισχυτές, δηλαδή δύο κυκλώματα ενίσχυσης, δύο τροφοδοτικά και δύο (συνήθως) ψυκτικές επιφάνειες. Η αρχιτεκτονική αυτή ονομάζεται dual mono και το κοινό σημείο εξακολουθεί να είναι το δίκτυο (κάποιες dual mono σχεδιάσεις, μάλιστα χρησιμοποιούν και ξεχωριστούς ρευματολήπτες). (*Σχήμα 20*)

Bi-wiring και Bi-amping

Ο απλούστερος τρόπος σύνδεσης ενός φορτίου στην έξοδο ενός ενισχυτή είναι βεβαίως ένα απλό ζεύγος αγωγών, δηλαδή, συνήθως, ένα διπολικό καλώδιο. (*Σχήμα 21*) Τηρώντας τους κανόνες της διατομής και της πολικότητας (ώστε να μην υπάρχουν απώλειες και τα ηχεία να είναι σε φάση, αντίστοιχα) δεν θα υπάρχει ιδιαίτρο πρόβλημα. Ωστόσο υπάρχουν δύο εναλλακτικές προσεγγίσεις: Η διπλοκαλωδίωση και η διενίσχυση. Στην διπλοκαλωδίωση (biwiring) χρησιμοποιούμε μία γραμμή μεταφοράς του σήματος ανά περιοχή συχνοτήτων, τοποθετώντας ένα ζεύγος αγωγών για τις μεσαίες/υψηλές συχνοτήτες και ένα για τις χαμηλές. Οι αγωγοί έχουν κοινό σημείο τις εξόδους του ενισχυτή αλλά τροφοδοτούν ξεχωριστά φίλτρα στα ηχεία. Πέραν της απλής εξήγησης, ότι με τον τρόπο αυτό αυξάνουμε σχεδόν πάντα την συνολική διατομή των αγωγών, υπάρχουν και άλλες αιτιάσεις γύρω από την σκοπιμότητα της διπλοκαλωδίωσης. Πολλές από αυτές βρίσκονται στην σφαίρα της ψυχολογίας, άλλες, είναι έμμεσα αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα το γεγονός ότι η διπλοκαλωδίωση γίνεται συνήθως με καλύτερης ποιότητας αγωγούς, ή το ότι ο πλήρης διαχωρισμός των κλάδων στην πλακέτα του φίλτρου (όταν υπάρχει) αφήνει μικρότερα περιθώρια για κακό σχεδιασμό. Είναι σίγουρο ότι πρέπει να αποφασίζει κανείς μετά από δοκιμή. (*Σχήμα 22*)

Η διενίσχυση (bi-amplification) από την άλλη, είναι σαφώς πιο απλή στην εξήγησή της: Χρησιμοποιώντας περισσότερους του ενός ενισχυτές και εκμεταλλευόμενοι την δυνατότητα ενός ηχείου για διπλοκαλωδίωση, αυξάνουμε την συνολική εγκατεστημένη ισχύ και την διατομή των γραμμών μεταφοράς και παράλληλα απομονώνουμε τα κανάλια ή τις περιοχές συχνοτήτων. Η διενίσχυση μπορεί να συναντηθεί σε δύο παραλλαγές: Την κάθετη, (*Σχήμα 23*) όπου ένας στερεοφωνικός ενισχυτής οδηγεί ένα ηχείο με κάθε κανάλι να τροφοδοτεί έναν κλάδο συχνοτήτων και την οριζόντια (*Σχήμα 24*) όπου ένας στερεοφωνικός ενισχυτής οδηγεί έναν κλάδο συχνοτήτων και για τα δύο ηχεία. Στην περίπτωση του biamping είναι προφανές ότι η ευαισθησία των τελικών πρέπει να είναι εντελώς ίδια! Καλό είναι να γνωρίζετε πάντως ότι η πραγματική διενίσχυση (ή πολυενίσχυση αναλόγως με τις περιοχές συχνοτήτων) είναι μία ακόμη πιο πολύπλοκη μέθοδος οδηγησης των ηχείων: Κατά την εφαρμογή της, αμέσως

μετά τον προενισχυτή, ακολουθεί μία συστοιχία ενεργών φίλτρων (συνήθως ρυθμιζόμενων ως προς την κλίση και πυθάνων την οικογένεια -Butterworth, Bessel- κ.λπ) η οποία χωρίζει το φάσμα σε επίπεδο στάθμης line, πριν αυτό οδηγηθεί σε ισάριθμους τελικούς, οι οποίοι συνδέονται απ' ευθείας στα πηνία φωνής των ηχείων. Από θεωρητικής πλευράς αυτή είναι και η πιο σωστή μέθοδος (μας επιτρέπει μάλιστα να σχεδιάσουμε ενισχυτές πιο κοντά στο ιδεατό της πηγής τάσης)

Αγοράζοντας Τελικό Ενισχυτή

Το πράγμα είναι απλό: Αγοράζεις τον ισχυρότερο ενισχυτή που μπορείς και καθαρίζεις. Η μήπως όχι; Η αλήθεια είναι, ότι ανάμεσα σε δύο ενισχυτές με ίδια δομή, σχεδιαστική προσέγγιση και ποιότητα υλοποίησης, ο καλύτερος είναι ο ισχυρότερος γιατί αυτός προσεγγίζει την πηγή σταθερής τάσης καλύτερα. Ωστόσο, πέρα από την ισχύ υπάρχουν αρκετοί άλλοι παράγοντες. Η τάξη λειτουργίας για παράδειγμα επηρεάζει την γραμμικότητα του σταδίου εξόδου. Το είδος των εξαρτημάτων ισχύος (λάμπες, διπολικά τρανζίστορ ή mosfets) έχουν, συχνά, σαφή ηχητική υπογραφή και ιδιαιτερότητες που μπορεί να ανεβάζουν το κόστος. Η ουσία είναι πώς ο τελικός ενισχυτής όταν κινείται κοντά στο όριο του φορτίου του, όταν δηλαδή προσεγγίζει τον ψαλιδισμό ή τα θερμικά του όρια, αρχίζει να αποκτά χαρακτήρα. Είναι επίσης αλήθεια ότι σημαντικό ρόλο παίζουν και τα πρώτα στάδια, της ενίσχυσης τάσης η εφαρμογή της ανάδρασης, καθώς επίσης και ο σχεδιασμός και οι συμβιβασμοί στην τροφοδοσία. Ένα καλό πρώτο βήμα πάντως σε κάθε περίπτωση είναι να προσεγγίζετε την αγορά από την πλευρά της ισχύος: Η βασική αποστολή, μην το ξεχνάτε, είναι η δημιουργία της απαραίτητης ηχητικής στάθμης και γι' αυτό, ο ενισχυτής πρέπει να επιλέγεται μετά τα ηχεία, αφού τα τελευταία καθορίζουν τις απαιτήσεις σε ισχύ. Υλοποιήσεις μικρής ισχύος (με στάδια εξόδου σε τάξη «Α», λυχνίες και single ended, για παράδειγμα) θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε μικρούς χώρους με ευαίσθητα ηχεία γιατί διαφορετικά θα λειτουργούν συνεχώς κοντά στο όριο των σταδίων εξόδου τους.

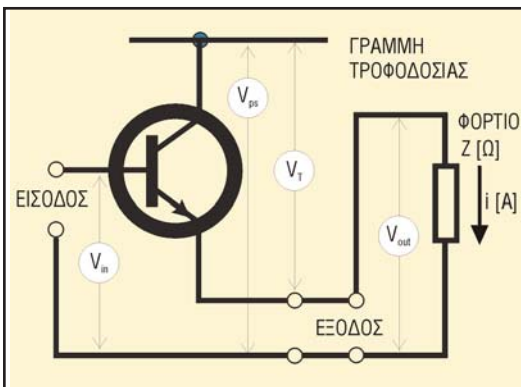
Ενισχυτές Τάξης «D»

Παρά το γεγονός ότι οι ενισχυτές τάξης «D» χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετό καιρό σε πολλές εφαρμογές από τις οποίες αρκετές ανήκουν στον χώρο του hi-fi, μόλις πρόσφατα, άρχισαν να συζητούνται έντονα. Αιτία γι' αυτό, χωρίς αμφιβολία, το γεγονός ότι κάποιοι σημαντικοί κατασκευαστές έχουν παρουσιάσει μοντέλα ενισχυτών ισχύος που χρησιμοποιούν την τεχνολογία αυτή με βασικό επιχειρήμα την οικονομία σε κόστος, χώρο και απώλειες που αυτή συνεπάγεται.

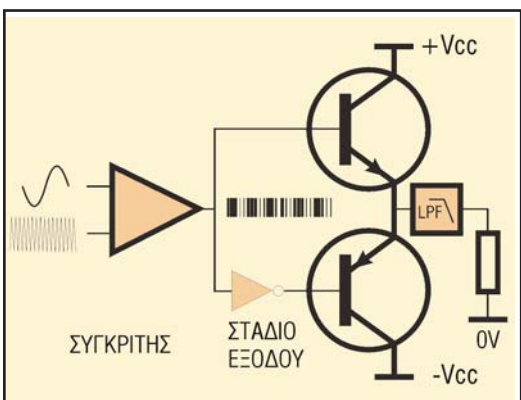
Η τάξη λειτουργίας ενός σταδίου εξόδου συσχετίζεται άμεσα με το ποσοστό του σήματος κατά το οποίο κάθε ημιαγωγός ισχύος βρίσκεται σε λειτουργία. Είδαμε, ότι οι τάξεις λειτουργίας «Α» και «ΑΒ», οι συμβατικές σχεδιαστικές προσεγγίσεις του συνόλου των ενισχυτών ισχύος με ημιαγωγούς της αγοράς, προβλέπουν την λειτουργία του κάθε ημιαγωγού, το λιγότερο, οριακά μεγαλύτερη του μισού της

ημπεριόδου του σήματος. Η τάξη λειτουργίας ενός ενισχυτικού σταδίου καθορίζεται από την πόλωση των ημιαγωγών του και το ρεύμα ηρεμίας που τους διαρρέει. Όσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα αυτό, τόσο μεγαλύτερες είναι και οι θερμικές απώλειες και τόσο μικρότερη η απόδοση. Αυτό μεταφράζεται σε αύξηση του κόστους/βάτ ισχύος και σε αύξηση του όγκου (λόγω των μεγάλων ψυκτικών επιφανειών που απαιτούνται), όπως επίσης και σε αύξηση των απαιτήσεων σε τροφοδοσία (έναν καλός ενισχυτής «ΑΒ» αποδίδει το πολύ το 75% της ισχύος που απορροφά από το δίκτυο) Οι ενισχυτές τάξης «D» λειτουργούν με βάση την μεγιστοποίηση της απόδοσης και αρχικά αναπτύχθηκαν για εφαρμογές όπου ο όγκος και η κατανάλωση ήταν σημαντικοί παράγοντες. Τέτοιες εφαρμογές είναι οι φορητές συσκευές, τα συστήματα ήχου στο αυτοκίνητο και τα subwoofers.

Σχήμα 14β. Στο σχήμα αυτό φαίνεται ένας στοιχειώδης ενισχυτής single ended σε τάξη "Α". Εδώ, η συνολική τάση τροφοδοσίας ισούται με το άθροισμα της τάσης στα άκρα του ημιαγωγού και της τάσης στα άκρα του φορτίου. Για λειτουργία χωρίς παραμόρφωση πρέπει να επιλέξουμε τάση στα άκρα του ημιαγωγού την μισή της τάσης τροφοδοσίας, επιλογή που "εγγυάται" μεγάλες απώλειες και μικρή απόδοση.



Σχήμα 25. Το σχήμα περιγράφει έναν στοιχειώδη ενισχυτή push-pull σε τάξη "D". Από αριστερά προς τα δεξιά, διακρίνεται ο συγκριτής με τις δύο εισόδους στις οποίες εφαρμόζεται η τριγωνική κυματομορφή και το αναλογικό σήμα αντιστοίχως, η είσοδος του σταδίου ισχύος, το βαθυπερατό φίλτρο και το φορτίο. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην πράξη οι ημιαγωγοί δεν είναι διπολικοί, όπως στο σχήμα, αλλά MOSFETs που είναι πολύ πιο κατάλληλα σε εφαρμογές διακοπών.



Κατασκευαστικά, οι ενισχυτές σε τάξη «D» είναι απλούστεροι και φθηνότεροι. Η λειτουργία τους βασίζεται σε δυο αρχές. Την χρήση ημιαγωγών ισχύος οι οποίοι είναι πολωμένοι ως διακόπτες (εκτός γραμμικής περιοχής λειτουργίας δηλαδή) και την χρήση κωδικοποίησης του σήματος σε μία μορφή που ονομάζεται διαμόρφωση εύρους παλμού (Pulse Width Modulation). Οι ενισχυτές σε τάξη «D» έχουν μεγάλες διαφορές από τους συμβατικούς ενισχυτές ως προς την εσωτερική τους δομή. Μία καλή προσέγγιση είναι να τους δει κανείς ως dacs ισχύος. Ωστόσο (και παρά τα θρυλούμενα) δεν είναι απαλλαγμένοι από προβλήματα τα οποία αντιμετωπίζονται είτε με την χρήση ψηφιακής επεξεργασίας του σήματος είτε με την χρήση κλασικών τεχνικών αρνητικής ανάδρασης.

Τάξεις ενισχυτών και θερμικές απώλειες

Η απόδοση ενός συμβατικού ενισχυτικού σταδίου περιλαμβάνει πάντοτε και τις θερμικές απώλειες επάνω στους ημιαγωγούς ισχύος. Οι απώλειες αυτές κατά τα γνωστά μπορούν να υπολογιστούν από το γινόμενο της τάσης στα άκρα του ημιαγωγού επί το ρεύμα που τον διαρρέει. Η τάση στα άκρα του ημιαγωγού σε κατάσταση ηρεμίας εξαρτάται από το κύκλωμα και καθορίζει για ποιο ποσοστό του συνολικού σήματος ο ημιαγωγός βρίσκεται σε λειτουργία. Για παράδειγμα σε έναν στοιχειώδη ενισχυτή τάξης «Α» όπως αυτός του σχήματος 14β, η τάση VT μεταξύ συλλέκτη και εκπομπού πρέπει να είναι η μισή της συνολικής τάσης τροφοδοσίας. Σε μία τέτοια περίπτωση το ρεύμα που απαιτεί το φορτίο καθορίζει τις απώλειες στον ημιαγωγό οι οποίες είναι μεγάλες επειδή και η τάση στα άκρα του είναι μεγάλη. Αυτά σημαίνουν όταν ο ημιαγωγός λειτουργεί στην περιοχή γραμμικής λειτουργίας του (όπως είναι απαραίτητο στην περίπτωση των συμβατικών «αναλογικών» ενισχυτών) Ωστόσο, μπορούμε να πολώσουμε τον ημιαγωγό του κυλώματος, έτσι ώστε να λειτουργεί ως διακόπτης: Σε μία τέτοια περίπτωση είτε θα είναι «ανοικτός» οπότε δεν θα υπάρχει ροή ρεύματος (άρα και απώλειες) είτε θα είναι «κλειστός» οπότε θα υπάρχει μέν ροή ρεύματος (όπως απαιτεί το φορτίο) αλλά η πτώση τάσης στα άκρα του θα είναι ελάχιστη, άρα και οι απώλειες ελάχιστες. Βεβαίως, μία τέτοια λειτουργία δεν εξυπηρετεί σε τίποτε αν το σήμα εισόδου διέπεται από γραμμικές μεταβολές συναρτησί του χρόνου, είναι δηλαδή αναλογικό. Ένα τέτοιο ενισχυτικό στάδιο δύο καταστάσεων απαιτεί και το ανάλογο σήμα δύο καταστάσεων δηλαδή ένα

σήμα σε ψηφιακή μορφή.

Η τάξη «D» και η Διαμόρφωση Εύρους Παλμών

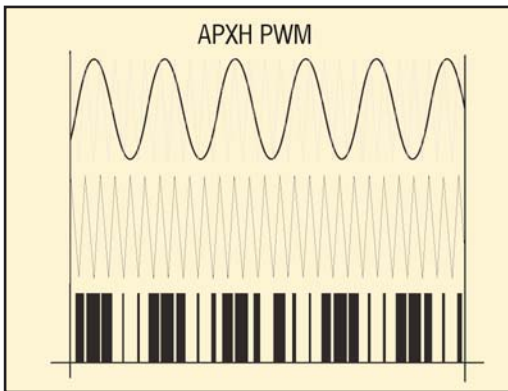
Ένας ενισχυτής σε τάξη «D» είναι στην πράξη ένας ενισχυτής ψηφιακών σημάτων, δηλαδή σημάτων που μπορούν να πάρουν μόνο δύο τιμές τάσης που αντιστοιχούν στα δύο ψηφία του δυαδικού συστήματος. Σε έναν τέτοιο ενισχυτή οι ημιαγωγοί ισχύος λειτουργούν ως διακόπτες. Η τάση εξόδου του μπορεί επίσης να πάρει μόνο δύο τιμές, άρα η ουσιαστική συμμετοχή του ημιαγωγού περιορίζεται στο να συνδέσει την αντίστοιχη τάση τροφοδοσίας στην έξοδο.

Ένας στοιχειώδης ενισχυτής τάξης «D» με ημιαγωγούς σε τοπολογία push-pull όπως αυτός του σχήματος 25 δέχεται στην είσοδό του μία παλμοσειρά της οποίας οι παλμοί είναι διαμορφωμένοι κατά το εύρος, με άλλα λόγια η πληροφορία που υπάρχει στο αναλογικό σήμα έχει διαμορφωθεί στην διαφοροποίηση της χρονικής διάρκειας του κάθε παλμού. Σε γενικές γραμμές, η διαμόρφωση αυτή δεν είναι δύσκολη και μπορεί να γίνει με την χρήση ενός συγκριτή ο οποίος στην μία είσοδο δέχεται το αναλογικό σήμα και στην άλλη μία τριγωνική κυματομορφή. Η τριγωνική αυτή κυματομορφή είναι πολύ μεγάλης συχνότητας σε σχέση με τα ακουστικά σήματα (μία τυπική τιμή είναι τα 350kHz) και μπορεί να παραχθεί με την ολοκλήρωση ενός τετραγωνικού σήματος που είναι εύκολο να δημιουργηθεί από μία τοπική γεννήτρια. Η έξοδος του ενισχυτή δεν είναι, βεβαίως, αναλογικό σήμα με την έννοια ενός σήματος του οποίου το πλάτος ακολουθεί την αρχική κυματομορφή της μουσικής αλλά μία κυματομορφή όμοια με αυτήν της εξόδου του διαμορφωτή -η οποία ωστόσο από μαθηματικής πλευράς περιλαμβάνει την μουσική πληροφορία. Χρησιμοποιώντας ένα βαθυπερατό φίλτρο στην έξοδο μπορούμε να αποκόψουμε τις υψηλές συχνότητες που οφείλονται στην διαδικασία της διαμόρφωσης PW και να πάρουμε το αναλογικό σήμα της εισόδου αναλλοίωτο αλλά ενισχυμένο. Ο αναστροφέας στον χαμηλότερο κλάδο εισόδου του push-pull χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει τον αντίστοιχο ημιαγωγό με το αντεστραμμένο σήμα. Ο συντελεστής ενίσχυσης ενός τέτοιου κυκλώματος δεν εξαρτάται από την πόλωση ή το κέρδος των ημιαγωγών (οι οποίοι -είναι σημαντικό να το θυμάται κανείς- δεν λειτουργούν στην γραμμική τους περιοχή) αλλά από την τάση με την οποία τροφοδοτούνται οι ημιαγωγοί εξόδων δηλαδή από την έξοδο του τροφοδοτικού.

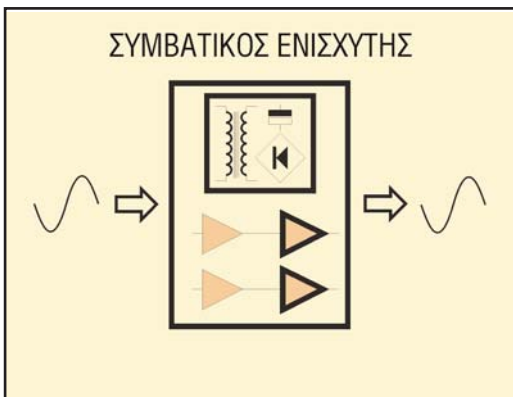
Η Τεχνική PWM

Η PWM είναι μία απλή διαδικασία ψηφιοποίησης αναλογικών σημάτων η οποία κωδικοποιεί την πληροφορία της αναλογικής γραμμικά μεταβαλλόμενης με τον χρόνο κυματομορφής σε πληροφορία εύρους (duty cycle) των παλμών μίας παλμοσειράς. Η διαδικασία αυτή δεν

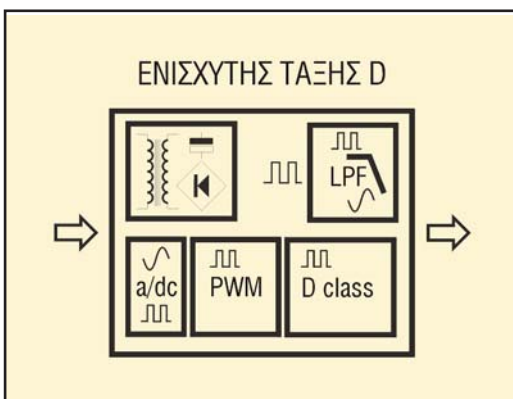
Σχήμα 26. Τα τρία σήματα που συμμετέχουν στην PWM: Το αναλογικό (ημίτονο, στην κορυφή) το τριγωνικό (στο μέσον) και οι διαμορφωμένοι σε εύρος παλμοί (στο κάτω μέρος). Για ευκολία, ένα αντίγραφο του τριγωνικού σήματος έχει υπερτεθεί στο αναλογικό σε γκρι χρώμα. Σημειώστε ότι το τριγωνικό σήμα πρέπει να είναι πολύ υψηλότερης συχνότητας του αναλογικού (οι τιμές κυμαίνονται από τα 200 έως τα 350kHz) και ότι στο σχήμα για τεχνικούς λόγους αυτό δεν είναι δυνατόν να γίνει. Η πληροφορία της περιοδικότητας του ημιτόνου, πάντως διατηρείται σχετικά ευκρινώς.



Σχήμα 27. Ο συμβατικός ενισχυτής αποτελείται από μία σειρά ενισχυτικών σταδίων τάσης και ρεύματος και μία τροφοδοτική διάταξη που εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία του κυκλώματος και τροφοδοτεί το φορτίο με το απαραίτητο ρεύμα.



Σχήμα 28. Ο ενισχυτής τάξης "D" περιλαμβάνει ένα ψηφιακό front end ώστε τα σήματα να αποκτούν το σωστό format, τον διαμορφωτή εύρους παλμών (PWM) το ενισχυτικό στάδιο και το βαθυπερτό φίλτρο εξόδου.



περιλαμβάνει κβαντισμό του σήματος και αντιστοίχσή του σε ψηφιακές λέξεις ενός κώδικα, για τον σκοπό αυτό δεν πρέπει να συγχέεται με την τεχνική PCM που χρησιμοποιείται στην ψηφιοποίηση των αναλογικών σημάτων όπως την γνωρίζουμε από το cd. Ένας ενισχυτής τάξης D δεν είναι κάτ' ανάγκη «ψηφιακός» υπό την έννοια ότι μπορεί να δεχτεί στην είσοδό του ψηφιακά σήματα απ' ευθείας αν και από πρακτικής άποψης αυτό γίνεται αρκετά συχνά. Στο σχήμα 26 φαίνονται οι τρεις βασικές κυματομορφές της τεχνικής PWM.

Το αναλογικό σήμα (εδώ ένα απλό ημίτονο) συγκρίνεται σε ένα κατάλληλο κύκλωμα με μία τριγωνική κυματομορφή. Η κυματομορφή αυτή παράγεται από την διέλευση ενός τετραγωνικού σήματος από έναν ολοκληρωτή και φαίνεται στο μέσον του σχήματος. Με μία απλή ματιά βλέπει κανείς ότι η συχνότητά της είναι μεγαλύτερη του αναλογικού σήματος. Κατά την σύγκριση των δύο κυματομορφών ο συγκριτής αποδίδει ένα λογικό «1» κάθε φορά που το αναλογικό σήμα έχει στάθμη υψηλότερη του τριγωνικού. Αυτό μπορεί να φανεί στο επάνω μέρος του σχήματος, όπου σε γκρι χρώμα έχει υπερτεθεί ένα αντίγραφο του τριγωνικού σήματος. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης φαίνεται στην τρίτη κυματομορφή. Αυτή είναι μία διαδοχή παλμών σταθερής τάσης, των οποίων το εύρος μεταβάλλεται ανάλογα με τον χρόνο κατά τον οποίο το αναλογικό σήμα ήταν υψηλότερο του τριγωνικού.

Δομή, Λειτουργία, Προβλήματα

Οι διαφορές των ενισχυτών τάξης «D» με τους συμβατικούς είναι θεμελιώδεις. Ο συμβατικός ενισχυτής (όπως αυτός που φαίνεται στο σχήμα 27) περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα στάδια τα οποία πραγματοποιούν ενίσχυση τάσης και ρεύματος καθώς επίσης και προσαρμογές αντιστάσεων καθώς επίσης και ένα τροφοδοτικό από το οποίο αντλείται η ισχύς εξόδου. Σε έναν τέτοιο ενισχυτή, οι βασικές παραμορφώσεις οφείλονται σε μη γραμμικότητες των ημιαγωγών, σε θόρυβο του τροφοδοτικού καθώς επίσης σε προβλήματα απόκρισης συχνότητας. Ο ενισχυτής τάξης «D» (σχήμα 28) ακολουθεί μία τελείως διαφορετική προσέγγιση. Τα τμήματα τα οποία αποτελούν έναν ενισχυτή τάξης «D» είναι ή είσοδος, όπου τα αναλογικά σήματα μετατρέπονται σε ψηφιακά, κωδικοποιημένα κατά εύρος και τα ψηφιακά (που μπορεί θεωρητικά να είναι... οτιδήποτε από την τυπικό datastream ενός CD player μέχρι Dolby Digital και DSD) αποκτούν το κατάλληλο σχήμα, το ενισχυτικό

στάδιο σε τάξη «D» και το βαθυπερτό φίλτρο εξόδου όπου το σήμα αποκτά και πάλι την αναλογική του μορφή. Οι μηχανισμοί παραμόρφωσης σε ένα τέτοιο ενισχυτή είναι βασικά τρεις. Ο πρώτος ονομάζεται σφάλμα χρονισμού (timing error) και σχετίζεται με τον χρόνο τον οποίο τα MOSFETs ισχύος μπορούν να αλλάξουν την κατάσταση τους και ο οποίος αν και μικρός δεν είναι εν τούτοις μηδενικός ακόμη χειρότερα μάλιστα δεν είναι σταθερός αλλά εξαρτώμενος από το ρεύμα το οποίο ζητά το φορτίο. Η παραμόρφωση που προκαλεί το φαινόμενο αυτό είναι ευθέως ανάλογη των διαφορών εύρους παλμού εισόδου-εξόδου και επίσης ανάλογη της συχνότητας του τριγωνικού σήματος (που το ονομάζουμε διακοπτικό σήμα, switching signal). Χρονικές διαφορές πολύ μικρού μεγέθους (10ns) δημιουργούν τυπικά μετρούμενες παραμορφώσεις 0.1% για διακοπτικό σήμα συχνότητας 350kHz. Ο δεύτερος ονομάζεται απλώς τροφοδοτικό! Η ισχύς εξόδου εξαρτάται από τις τάσεις τροφοδοσίας αφού το σήμα παίρνει μόνο τις τιμές αυτές. Κάθε αλλαγή στις τάσεις είτε λόγω μεταβολής της τάσης του δικτύου είτε λόγω βύθισης της τάσης λόγω υπερβολικού φόρτου (η κακού υπολογισμού του τροφοδοτικού) έχουν επίδραση στο σήμα εξόδου. Αρα το τροφοδοτικό ενός ενισχυτή τάξης «D» είναι ακόμη πιο κρίσιμο από ότι ενός συμβατικού ενισχυτή. Τρίτον, υπάρχει και το φίλτρο στην έξοδο. Συνήθως σχεδιάζεται με συγκεκριμένες προδιαγραφές φορτίου ενώ είναι γνωστό ότι τα ηχεία δεν έχουν μεγάλη σχέση με την σταθερότητα. Συνδέοντας δύο φίλτρα σε σειρά (το φίλτρο του ενισχυτή και το κροσόβερ) τα αποτελέσματα είναι σχετικώς απρόβλεπτα και είναι πιθανόν να υπάρξουν σημαντικές (για το επίπεδο τιμής και ποιότητας ενός μηχανήματος) επιδράσεις στην απόκριση συχνότητας. Όλα αυτά βεβαίως ισχύουν για σχεδιάσεις ανοικτού βρόγχου, δηλαδή χωρίς ανάδραση. Ωστόσο, η φύση των ενισχυτών επιτρέπει την χρήση ανάδρασης (αν και κάπως περισσότερο πολύπλοκης στην εφαρμογή της) με την αναλογική έννοια του όρου. Η αλήθεια μάλιστα είναι ότι η διαφοροποίηση των σχεδιάσεων βρίσκεται συνήθως ακριβώς εκεί, στο πώς δηλαδή εκμεταλλεύονται στο σήμα εξόδου για να ελαχιστοποιήσουν τα σφάλματα. Υπάρχουν ακόμη και δυνατότητες μεταβολής της συχνότητας του διακοπτικού σήματος.

avmentor

URL: <http://www.avmentor.gr>, ©Ακράιες Εκδόσεις 2005