

Του Harry Baggen

Κατατάξεις τελικών ενισχυτών

Ενισχυτές ήχου από το A έως το T

Ο τελικός ενισχυτής αποτελεί την ουσιαστική πηγή ισχύος της κάθε ηχητικής εγκατάστασης. Δουλειά του είναι να μετατρέπει μία μικρή εναλλασσόμενη τάση σε ένα ισχυρό σήμα κατάλληλο να οδηγήσει τα ηχεία, με όσο το δυνατόν όμως μικρότερη παραμόρφωση. Μέσα στα χρόνια που πέρασαν από την αρχική παρουσίαση των ηλεκτρονικών συστημάτων ήχου, οι σχεδιαστές δοκίμασαν διάφορες προσεγγίσεις στο συγκεκριμένο πρόβλημα. Όλα όμως ξεκίνησαν με την Τάξη A...



Λίγο περισσότερος θόρυβος, πολύ περισσότερη ισχύς

Για πολύ κόσμο, το μέγεθος της ισχύος που είναι σε θέση να αποδώσει ένας ενισχυτής αποτελεί σημαντική παράμετρο κατά την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του (Ο ενισχυτής σου είναι 2 x 40 Watt; Ο δικός μου είναι 2 x 70 Watt!). Στην πράξη όμως, η ισχύς από μόνη της δεν είναι και τόσο σημαντική.

Μπορεί κανείς να παράγει αρκετό θόρυβο, ακόμη και με λίγα μόλις watt. Εάν για παράδειγμα χρησιμοποιήσουμε ένα ζευγάρι ηχείων που είναι σε θέση να παράγουν μία στάθμη πίεσης ήχου της τάξης των 86 dB (τιμή η οποία απαντάται αρκετά συχνά στις προδιαγραφές των ηχείων), μπορούμε με 2,5 watt να παράγουμε 90 dB. Με 25 Watt έχουμε επαρκή ισχύ για να πετύχουμε 100 dB, τιμή η οποία είναι ήδη αρκετά υψηλή (και επικίνδυνη πλέον για τα αυτιά μας).

Μία αύξηση κατά 6 dB, το ανθρώπινο αυτί την αντιλαμβάνεται σαν διπλασιασμό της στάθμης της έντασης του ήχου, αλλά αυτό προϋποθέτει τετραπλασιασμό της ισχύος. Με άλλα λόγια, εάν πραγματικά θέλουμε να έχουμε ένα μεγαλύτερο τελικό ενισχυτή με ισχύ περισσότερη από αυτή που διαθέτουμε, θα χρειαστούμε ένα ενισχυτή με τουλάχιστον τετραπλάσια ισχύ για να παρατηρήσουμε πραγματική διαφορά στην ένταση.

Η απόδοση υψηλής ισχύος δεν είναι απλό έργο για ένα ενισχυτή. Απαραίτητες προϋποθέσεις για να παρέχουμε ικανή ισχύ προς τα ηχεία που συνδέονται στον ενισχυτή, είναι η σημαντική ενίσχυση τόσο της τάσης όσο και του ρεύματος. Ο λόγος είναι ότι η απόδοση των μεγαφώνων είναι μόλις μερικές μονάδες τοις εκατό, το οποίον σημαίνει ότι οίγουρα χρειάζονται αρκετά watt για να προκαλέσουν επαρκή στάθμη ηχητικής πίεσης μέσα στο σαλόνι μας. Στην περίπτωση μάλιστα συναυλιών ή εξωτερικών εκδηλώσεων, απαιτούνται πολύ περισσότερα watt και η απαιτούμενη ισχύς μπορεί εύκολα να φτάσει μέχρι και τα kilowatt.

Για την ενίσχυση ισχύος σε ένα τελικό ενισχυτή, έχουν αναπτυχθεί διάφορα σχέδια που έχουν να κάνουν με την χρήση τρανζίστορ ή FET τα οποία αποσκοπούν στην παραγωγή σημάτων εξόδου υψηλής ποιότητας ή την βελτίωση της απόδοσης των βαθμίδων εξόδου (οι ενισχυτές με λυχνίες είναι εκτός αντικειμένου του παρόντος άρθρου).

Όταν λοιπόν ένας σχεδιαστής αναπτύσσει μία βαθμίδα εξόδου, θα πρέπει να λάβει πρώτα από όλα υπ' όψιν του τα ειδικά χαρακτηριστικά των μονάδων με ημιαγωγούς που πρόκειται να χρησιμοποιήσει. Εάν είχαμε την δυνατότητα να δουλέψουμε με 'ιδανικά' τρανζίστορ ή FET, η ανάπτυξη ποιοτικών ενισχυτών θα ήταν πολύ πιο εύκολη. Δυστυχώς όμως, όλες οι διατάξεις ημιαγωγών υποφέρουν από μη γραμμικότητα όσον αφορά τα χαρακτηριστικά ενίσχυσης και αυτό προκαλεί σημαντικά προβλήματα, ειδικά μάλιστα κατά την επεξε-

ργασία αναλογικών σημάτων. Τα προβλήματα αυτά είναι δυνατόν να ελαχιστοποιηθούν με χρήση του κατάλληλου ποσοστού ανάδρασης. Ανάλογα βέβαια με την επιλεγείσα διαμόρφωση, υπάρχουν και άλλα δυσάρεστα φαινόμενα που μπορεί να εμφανιστούν, όπως είναι το γνωστό σε όλους φαινόμενο παραμόρφωσης 'διάθρασης' (crossover).

Ένας άλλος σημαντικός παράγων ο οποίος ειδικά στους μεγάλους ενισχυτές πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ' όψιν, είναι η απαγομένη θερμότητα. Η θερμότητα αυτή είναι δυνατόν να οδηγήσει σε φαινόμενα με σημαντικές επιπτώσεις, όπως είναι η ολίθωση του ρεύματος ηρεμίας και η παραμόρφωση θερμικής διαμόρφωσης.

Οι τελικοί ενισχυτές συνήθως ταξινομούνται ανάλογα με την διαμόρφωση της βαθμίδας εξόδου, η οποία σε μεγάλο βαθμό καθορίζει την απόδοσή τους και την ποιότητα, δεδομένου ότι η βαθμίδα εξόδου είναι αυτή στην οποία υλοποιείται και η ουσιαστική ενίσχυση.

Οι διάφορες κατηγορίες ενισχυτών χαρακτηρίζονται με την χρήση των γραμμάτων της αλφαβήτου, παρά το γεγονός ότι τα γράμματα δεν έχουν καμία σχέση με το πώς αυτοί λειτουργούν. Όλη η ιστορία ξεκίνησε με το πρώτο γράμμα της αλφαβήτου.

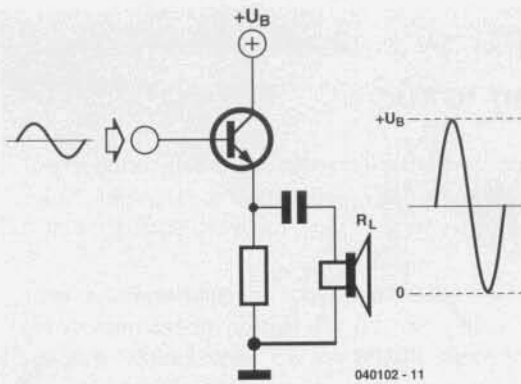
Τάξη Α

Ξεκινάμε λοιπόν με την απλούστερη σχεδίαση ενισχυτή, την Τάξη Α, η οποία μάλιστα και αποτελεί μία από τις καλύτερες επιλογές για υψηλής ποιότητας αναπαρα-

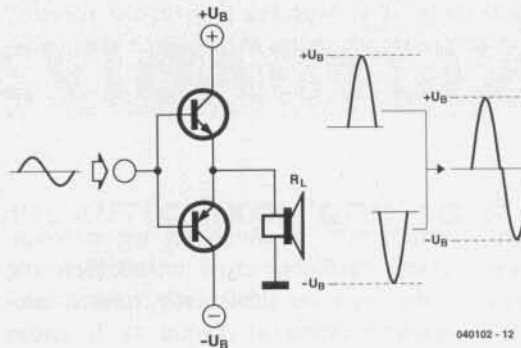
γωγής ήχου. Η υλοποίηση της συγκεκριμένης σχεδίασης στην απλούστερη της μορφή, γίνεται μέσω ενός τυπικού ακολουθητή εκπομπού (Σχήμα 1). Το ρεύμα ηρεμίας μέσα από το τρανζίστορ ισούται με το εναλλασσόμενο ρεύμα εξόδου κορυφής, το οποίον σημαίνει ότι το τρανζίστορ είναι πολωμένο στο μέσον του εύρους λειτουργίας και απλά άγει περισσότερο ή λιγότερο ρεύμα ανάλογα με την εξωτερική εναλλασσόμενη τάση που το οδηγεί. Η απόδοση είναι εξαιρετικά χαμηλή: 25 % στο μέγιστο πλάτος εξόδου και ακόμη μικρότερη σε χαμηλές στάθμες σήματος. Η απόδοση είναι δυνατόν να βελτιωθεί εάν χρησιμοποιήσουμε συμμετρική σχεδίαση με δύο τρανζίστορ αλλά και σε αυτή την περίπτωση η υψηλότερη απόδοση που είναι δυνατόν να επιτευχθεί φτάνει το 50 %.

Τάξη Β

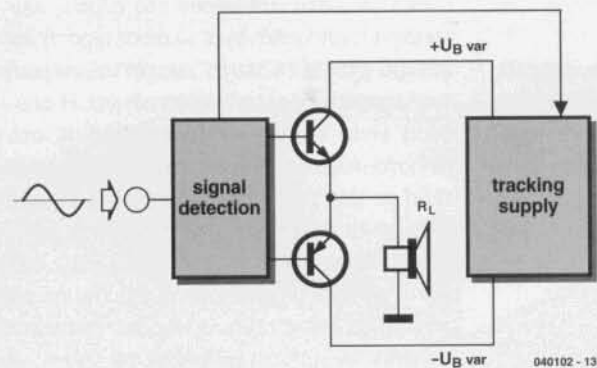
Η σχεδίαση σε τάξη Β χρησιμοποιεί δύο τρανζίστορ, το κάθε ένα από τα οποία άγει για το μισό ακριβώς της περιόδου του σήματος (Σχήμα 2). Σε κατάσταση ηρεμίας, μέσα από τα τρανζίστορ δεν διέρχεται καθόλου ρεύμα ηρεμίας. Η απόδοση ενός ενισχυτή σε Τάξη Β φθάνει το 78 %, αλλά το κύριο μειονέκτημα της σχεδίασης αυτής είναι η 'παραμόρφωση μεταφοράς' (transfer distortion) η οποία εμφανίζεται κάθε φορά που το φορτίο μεταγεται από το ένα τρανζίστορ στο άλλο. Λόγω της απότομης κάμψης στο τέλος της χαρακτηριστικής μεταφοράς, οι δύο ημιπερίοδοι της κυματομορφής δεν ευθυγραμμίζονται σωστά μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό



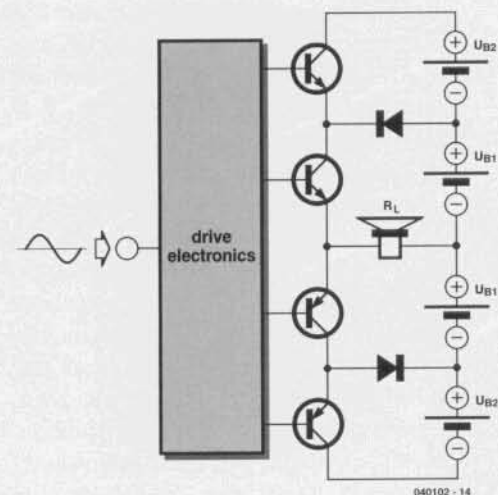
Σχήμα 1. Ένας ενισχυτής σε Τάξη Α παρουσιάζει πολύ χαμηλή απόδοση, αλλά είναι τελειώς απαλλαγμένος από παραμόρφωση διέλευσης (crossover).



Σχήμα 2. Στην σχεδίαση Β Τάξης, το κάθε τρανζίστορ άγει για το μισό της περιόδου. Εδώ τα προβλήματα εντοπίζονται γύρω από το σημείο διέλευσης από το μηδέν.



Σχήμα 3. Η Τάξη G χρησιμοποιεί μία τροφοδοσία η οποία ρυθμίζεται διαρκώς, έτσι ώστε να ακολουθεί το πλάτος του σήματος.



Σχήμα 4. Η Τάξη Η περιορίζεται στο να μεταγεται μεταξύ διαφόρων προκαθορισμένων τάσεων τροφοδοσίας (στην συγκεκριμένη περίπτωση δύο).

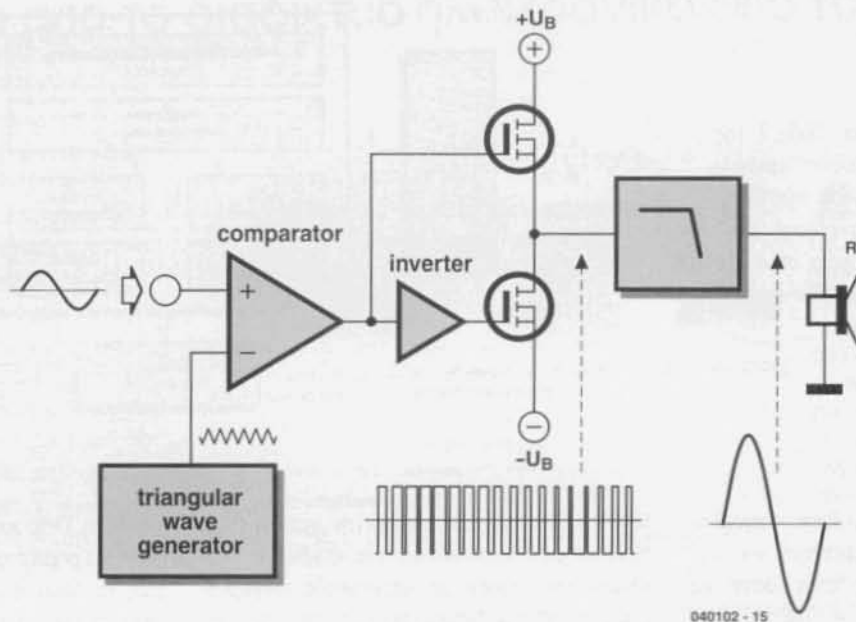
οδηγεί στο γνωστό πρόβλημα της παραμόρφωσης διάβασης (crossover) ή παραμόρφωση διέλευσης από το μηδέν, η οποία γίνεται χαρακτηριστικά αντιληπτή από το ανθρώπινο αυτί.

Σε μία προσπάθεια να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό έγινε ένας συνδυασμός της Τάξης Α με την Τάξη Β, απ' όπου προέκυψε ο ενισχυτής σε Τάξη ΑΒ. Πρόκειται για μία σχεδίαση σε Τάξη Β στην οποία διατηρείται ένα μικρό ρεύμα ηρεμίας, και με τον τρόπο αυτό στις χαμηλές στάθμες ισχύος ο ενισχυτής λειτουργεί στην ουσία σε Τάξη Α. Η συγκεκριμένη σχεδίαση χρησιμοποιείται σήμερα στους περισσότερους τελικούς ενισχυτές, και η τελική της απόδοση παραμένει περίπου η ίδια με αυτή της Τάξης Β.

Τάξη G και H

Εδώ φαίνεται να 'εξεχάσαμε' μερικά γράμματα. Όντως έτσι είναι, αλλά δεν το κάναμε κατά λάθος. Υπάρχουν και οι Τάξεις C, E και F, αλλά αυτές είναι στην πράξη κατάλληλες μόνον για εφαρμογές υψηλών συχνοτήτων και θα λέγαμε ότι ξεφεύγουν από το πεδίο ενδιαφέροντος του παρόντος άρθρου. Πέραν αυτών, έχουμε και τους ενισχυτές σε τάξη D, αλλά η συγκεκριμένη σχεδίαση διαφέρει τόσο πολύ από την σχεδίαση σε Τάξη Α και Τάξη Β που αποφασίσαμε να ασχοληθούμε με αυτήν χωριστά. Ας ρίξουμε λοιπόν πρώτα μία ματιά στους ενισχυτές σε Τάξη G και Τάξη H, οι οποίοι μοιράζονται ένα σημαντικό χαρακτηριστικό. Το κοινό αυτό χαρακτηριστικό έγκειται στο ότι και στις δύο τάξεις, η τάση τροφοδοσίας ρυθμίζεται διαρκώς ακολουθώντας τις μεταβολές πλάτους του σήματος εξόδου. Στην Τάξη G, (Σχήμα 3) η τάση τροφοδοσίας μεταβάλλεται διαρκώς με στόχο να προσαρμόσει το σήμα εξόδου στο επιθυμητό πλάτος. Η παραγωγή μίας τέτοιας 'μεταβαλλόμενης' τάσης τροφοδοσίας καθίσταται αρκετά εύκολη με την βοήθεια των σύγχρονων παλμοτροφοδοτικών, παρότι βέβαια είναι σημαντικό να διαθέτουμε ένα καλό κύκλωμα σταθεροποίησης το οποίο θα επιτρέπει στην τάση τροφοδοσίας να ανταποκρίνεται με ικανοποιητική ταχύτητα στις μεταβολές πλάτους του σήματος που παράγεται από την βαθμίδα εξόδου.

Αυτό που συμβαίνει στην τάξη H (Σχήμα 4) είναι ουσιαστικά το ίδιο με την Τάξη G, με την διαφορά ότι εδώ η τάση τροφοδοσίας αντί να μεταβάλλεται διαρκώς, μεταγεται μεταξύ ορισμένων προκαθορισμένων



Σχήμα 5. Ένας ενισχυτής σε Τάξη D αποτελείται από ένα διαμορφωτή πλάτους παλμού με μία βαθμίδα ισχύος εξόδου και ένα βαθυπερατό φίλτρο.

040102 - 15

τιμών (συνήθως δύο). Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται σημαντικά το ποσό της απαγόμενης ισχύος στην βαθμίδα εξόδου, ειδικά για τις περιπτώσεις όπου απαιτούνται υψηλά ποσά ισχύος.

Τάξη D

Θα πρέπει κατ' αρχήν να ξεκαθαρίσουμε ότι στην σχεδίαση ενισχυτών σε Τάξη D, το συγκεκριμένο γράμμα δεν έχει καμία σχέση με τον όρο 'ψηφιακό' (Digital) και η παρουσία του είναι απλώς συμπτωματική. Πρόκειται για ένα μεταγόμενο ενισχυτή ο οποίος χρησιμοποιεί διαμόρφωση πλάτους διάρκειας παλμού (Σχήμα 5). Το σήμα εισόδου συγκρίνεται με μία τριγωνική κυματομορφή και η έξοδος του συγκριτή μεταγεί την βαθμίδα εξόδου στην θετική ή την αρνητική γραμμή τροφοδοσίας.

Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση μίας πολύ υψηλής συχνότητας μεταγωγής (παλμών), η οποία συνήθως είναι δεκαπλάσια (ή και περισσότερο) του εύρους ζώνης ακου-

στών συχνοτήτων (το οποίο σημαίνει 200 KHz και πάνω).

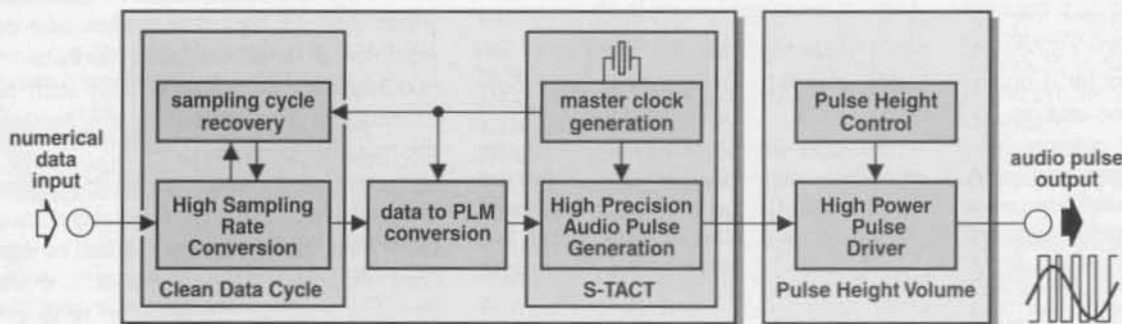
Με αυτή τη μορφή διαμόρφωσης, το πλάτος του παλμού εξαρτάται από την στάθμη του σήματος στην είσοδο. Εάν μετά την βαθμίδα εξόδου τοποθετήσουμε ένα βαθυπερατό φίλτρο, το σήμα με τους παλμούς ολοκληρώνεται και αυτό που απομένει είναι ένα αναλογικό σήμα με μορφή ίδια με αυτή του σήματος εισόδου, αλλά βέβαια ενισχυμένο.

Δεδομένου ότι το μόνο που έχει να κάνει η βαθμίδα εξόδου είναι να μεταγεται, η απόδοση της είναι πολύ υψηλή. Παρ' όλα αυτά όμως, η συγκεκριμένη προσέγγιση παρουσιάζει και ένα πλήθος μειονεκτημάτων. Η κυματομορφή του σήματος είναι δύσκολο να παραμείνει απαλλαγμένη από παραμόρφωση, στην έξοδο απαιτείται η παρουσία ενός ισχυρού φίλτρου και επιβάλλεται η λήψη δραστικών μέτρων για τον περιορισμό των δημιουργούμενων παρεμβολών. Για την επίτευξη ενίσχυσης με

χαμηλή παραμόρφωση, είναι απαραίτητη η χρήση αρνητικής ανάδρασης (αναλογικής ή ψηφιακής).

Τάξεις S και T

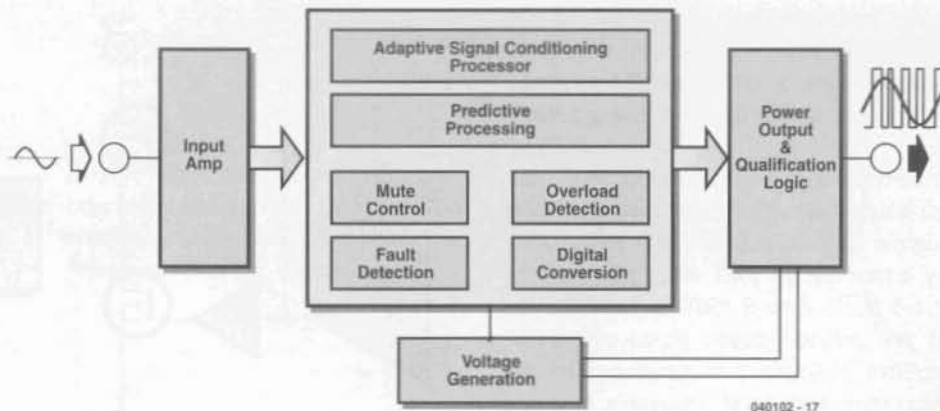
Παρότι η αρχή λειτουργίας των ενισχυτών σε Τάξη D κουβαλάει ήδη στην πλάτη της μερικές δεκαετίες, ποτέ δεν κατόρθωσε να καθιερωθεί πραγματικά σε εφαρμογές υψηλής πιστότητας (hi-fi). Ο λόγος είναι η υπερβολική παραμόρφωση και η απουσία ημιαγωγών μονάδων καλής ποιότητας (γρήγορα FET ισχύος). Αρκετοί εν τώ μεταξύ κατασκευαστές ανέπτυξαν τις δικές τους παραλλαγές πάνω στο ίδιο θέμα, και σε πολλές περιπτώσεις τους έδωσαν και διαφορετική ονομασία. Έτσι έχουμε για παράδειγμα τους ενισχυτές σε Τάξη I από την Crown, την τεχνολογία S-Master από την Sony, ενώ η Tripath σχεδίασε τους ενισχυτές σε Τάξη T. Δυστυχώς και χάριν των συντομεύσεων που ήθελε να περάσει η κάθε εταιρεία, η όμορφη αλφαβητική



Σχήμα 6. Σχηματικό διάγραμμα ενός ενισχυτή S-Master της Sony.

040102 - 16

Σχήμα 7. Ο ενισχυτής σε Τάξη T της Tripath αποτελεί μία 'εύφυη' παραλλαγή τη αρχής λειτουργίας της Τάξης D. Στην συγκεκριμένη σχεδίαση ένας επεξεργαστής παρακολουθεί συνεχώς το σήμα εισόδου και ρυθμίζει ανάλογα τα σήματα μεταγωγής.



040102 - 17

ακολουθία εγκαταλείφθηκε. Στην τεχνολογία S-Master, η Sony προσπάθησε να συνδυάσει διάφορες τεχνικές έτσι ώστε να καταστήσει την σχεδίαση σε Τάξη D κατάλληλη για οικιακές εφαρμογές υψηλής πιστότητας. Στην τεχνολογία αυτή η διαδικασία μετατροπής του σήματος εισόδου σε ένα αντίστοιχο σήμα διαμορφωμένο κατά πλάτος παλμού καλείται ' συμπληρωματική διαμόρφωση μήκους παλμού (C-PLM, Complementary Pulse Length Modulation). Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στην καταστολή του 'τρεμποαίγματος' (jitter) και αυτό επιτεύχθηκε με την χρήση ενός εξαιρετικά ακριβούς σήματος χρονισμού και ενός κυκλώματος καλούμενου 'καθαρός κύκλος δεδομένων' (clean data cycle) το οποίο όποτε χρειάζεται διορθώνει την θέση των παλμών εξόδου (δείτε το Σχήμα 6).

Ένα σίγουρα ασύνηθες χαρακτηριστικό είναι η μέθοδος που χρησιμοποιεί η Sony για να υλοποιήσει τον έλεγχο της έντασης. Σε ένα τυπικό ενισχυτή σε Τάξη D, η κυματομορφή παλμών είναι πάντοτε παρούσα στην έξοδο ολόκληρη, με ένα πλάτος από 50 έως 100 Vpp. Ειδικά στην περίπτωση πολύ μικρών σημάτων εξόδου, η πλήρης απόρριψη όλων των υπολειπόμενων συνιστωσών της παλμοσειράς από το φιλτραρισμένο σήμα, είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Στην σχεδίαση της Sony, η ένταση ελέγχεται μέσω ρύθμισης της τάσης τροφοδοσίας στην βαθμίδα εξόδου και με τον τρόπο αυτό αποτρέπεται η οποιαδήποτε απώλεια πληροφορίας από τα σήματα με χαμηλή στάθμη. Η συγκεκριμένη τεχνική παρουσιάζει ένα ενεργό εύρος της τάξης των 50 dB.

Μία άλλη εταιρεία, η Tripath, ανέπτυξε μία τεχνική η οποία σύμφωνα με τους ίδιους καταφέρνει να συνδυάσει την ποιότητα σήματος των ενισχυτών σε Τάξη A και AB με την υψηλή απόδοση (γύρω στο 80 - 90

%). Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση ενός συνδυασμού αναλογικών και ψηφιακών κυκλωμάτων, παρέα με ψηφιακούς αλγόριθμους οι οποίοι διαμορφώνουν το σήμα εισόδου μέσω μίας κυματομορφής μεταγωγής υψηλής συχνότητας. Οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι οι οποίοι αναπτύχθηκαν από την Tripath έχουν προκύψει από υπάρχοντες αλγόριθμους πρόβλεψης και προσαρμογής που χρησιμοποιούνται σε συστήματα τηλεπικοινωνιών.

Στον ενισχυτή της Tripath, η πλειονότητα των ψηφιακών και αναλογικών κυκλωμάτων φιλοξενείται σε ένα ολοκληρωμένο, το οποίο περιλαμβάνει επίσης και τα τρανζίστορ εξόδου (ανάλογα με την ισχύ). Στο Σχήμα 7 απεικονίζεται το σχηματικό διάγραμμα του ενισχυτή. Αρχικά το σήμα εισόδου απομονώνεται σε μία βαθμίδα εισόδου και από εκεί οδηγείται στην μονάδα Ψηφιακής Επεξεργασίας Ισχύος (Digital Power Processing), η οποία περιλαμβάνει τον επεξεργαστή σήματος, μία συνάρτηση ψηφιακής μετατροπής, μεταγωγή φίμωσης, προστασία από υπερφόρτωση και αντίχτυση σφάλματος. Η βαθμίδα οδηγείται στα ηχεία μέσω ενός φίλτρου. Χάρη στους εξειδικευμένους αλγόριθμους, ο επεξεργαστής στον ενισχυτή σε Τάξη T είναι σε θέση να μορφοποιήσει το σήμα που οδηγεί την βαθμίδα εξόδου με τέτοιο τρόπο, ώστε αυτό να είναι προσαρμοσμένο στα ειδικά χαρακτηριστικά των τρανζίστορ που χρησιμοποιούνται στην συγκεκριμένη βαθμίδα.

Η μορφοποίηση λαμβάνει υπ' όψιν την μη ιδανική συμπεριφορά μεταγωγής, την μη προσαρμογή των συμπληρωματικών τρανζίστορ εξόδου, την παραμόρφωση νεκρού χρόνου και την ενέργεια του ταλαντωτή στην ζώνη ακουστών συχνοτήτων που ακόμα υπάρχει.

Η συχνότητα μεταγωγής ενός ενισχυτή

σε Τάξη T προσαρμόζεται συνεχώς στο πλάτος του σήματος εισόδου. Στις χαμηλές στάθμες εισόδου η συχνότητα μεταγωγής είναι αρκετά υψηλή (περίπου 1,2 MHz), γεγονός το οποίο έχει θετική επίδραση στην ποιότητα του σήματος. Στην συνέχεια και όσο αυξάνει η στάθμη του σήματος στην είσοδο, η συχνότητα μεταγωγής βαθμιαία πέφτει, με σκοπό να αυξηθεί η απόδοση. Η βέλτιστη απόδοση επιτυγχάνεται όταν η έξοδος οδηγείται με το μέγιστο δυνατό πλάτος, οπότε η συχνότητα μεταγωγής πέφτει στην ελάχιστη τιμή της (περίπου 200 KHz). Εκτός αυτού, στα μέγιστα του σήματος εξόδου εφαρμόζεται μία μορφοποίηση του θορύβου, με στόχο να θελτωθεί η κυματομορφή του σήματος.

Με την βοήθεια όλων των παραπάνω μέτρων, ο ενισχυτής σε Τάξη T είναι σε θέση να αποδώσει μία ηχητική αίσθηση η οποία παραπέμπει σε αναλογικούς ενισχυτές υψηλής πιστότητας.

Το μέλλον

Δοθείσης της σταθερής εξέλιξης στον τομέα του ψηφιακού ήχου, είναι σίγουρο ότι σύντομα όλο και κάποιος μορφής ψηφιακή βαθμίδα εξόδου θα ενσωματώνεται ακόμη και σε ενισχυτές ευρείας κατανάλωσης. Οι λόγοι έχουν να κάνουν τόσο με την υψηλότερη απόδοση και το μικρότερο βάρος, όσο και με το μικρότερο κόστος. Από την άλλη βέβαια, είναι δύσκολο να προβλέψει κανείς εάν η εξέλιξη αυτή θα μπορέσει να επικρατήσει και στο βασίλειο της υψηλής πιστότητας.

Στην παρούσα πάντως φάση, οι ψηφιακοί ενισχυτές που υπάρχουν στην αγορά είναι πολύ λίγοι. Όποιος πάντως θέλει να έχει ιδιαν άποψη, μπορεί να ξεκινήσει από τον ενισχυτή που περιγράφεται σε άλλο σημείο του περιοδικού.

(040102-1)