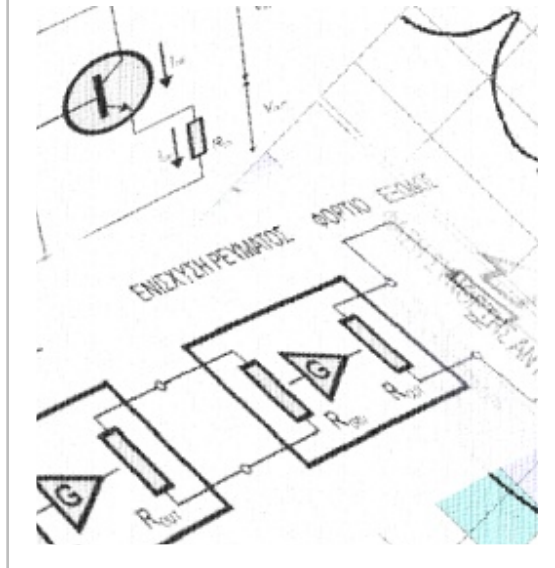


avmentor

KnowHow Series Η σχέση Ενισχυτή-Ηχείων

Δεν θα σας πάρει πάνω από μισό λεπτό να συνδέσετε δύο ηχεία στην έξοδο ενός ενισχυτή. Θα σας πάρει πολύ περισσότερο το να καταλάβετε τι δεν πήγε καλά μεταξύ τους... Η σχέση ενός ενισχυτή με το ηχείο που τον ακολουθεί έχει παρεξηγηθεί συστηματικά και ενίοτε έχει δώσει λαβές για την δημιουργία μύθων και θρύλων. Κι όμως, όπως όλα τα πράγματα στο audio, μπορεί να εξηγηθεί λογικά!

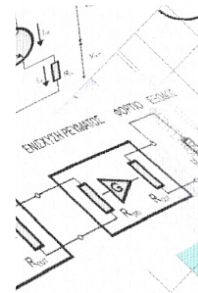


Δημήτρης Σταματάκος, έκδοση 04/2010

εισαγωγή

Η σχέση μεταξύ των ηχείων και των ενισχυτών που τα οδηγούν γίνεται, γενικώς, δύσκολα κατανοητή. Από την μία άποψη, αυτό είναι από τα περίεργα του audio. Οι τεχνολογίες που εμπλέκονται είναι από τις παλαιότερες στον χώρο και η περιγραφή των φαινομένων που υπεισέρχονται μπορεί να βρεθεί σε κάθε καλό βιβλίο αναλογικών ηλεκτρονικών. Οι συχνότητες που διαχειρίζεται ένας τελικός ενισχυτής ανήκουν σε ένα σχετικώς περιορισμένο φάσμα και τα προβλήματα λόγω μεταφοράς έχουν περιγραφεί και αυτά με αρκετή ακρίβεια. Γιατί, τότε, προκύπτουν καταστάσεις που δεν είναι αναμενόμενες;

Στην πραγματικότητα, αυτό που μας δημιουργεί προβλήματα είναι η πολύ απλοποιημένη (συχνά στα όρια του απλοϊκού) προσέγγιση που επιχειρείται στον τρόπο που συμπεριφέρεται το ίδιο το ηχείο. Ακόμη και οι βασικές προδιαγραφές μέτρησης των τελικών σταδίων προβλέπουν χρήση ωμικών φορτίων (μια προσέγγιση της πραγματικότητας που δεν θα μπορούσε να απέχει από αυτήν περισσότερο...) δημιουργώντας συχνά λανθασμένες εντυπώσεις και διαιωνίζοντας τις διάφορες ασάφειες. Και ακόμη, ο τρόπος με τον οποίο περιγράφεται η συμπεριφορά του ηχείου είναι -πολύ συχνά- ανεπαρκής. Το κείμενο που ακολουθεί επιχειρεί να βάλει μια σχετική τάξη σε όλα αυτά. Χρησιμοποιεί απλά (αλλά πιο ρεαλιστικά) μοντέλα τόσο για το στάδιο εξόδου του ενισχυτή όσο και για το ίδιο το ηχείο και τα καλώδια σύνδεσης, εξηγεί τι σημαίνει "πηγή σταθερής τάσης" και ποιές είναι οι προεκτάσεις αυτού του θεωρητικού κατασκευάσματος ενώ περιλαμβάνει και μια ανάλυση ορισμένων χαρακτηριστικών που θα πρέπει να λαμβάνονται υπ'όψιν όταν προσπαθούμε να εξηγήσουμε το τι συμβαίνει.

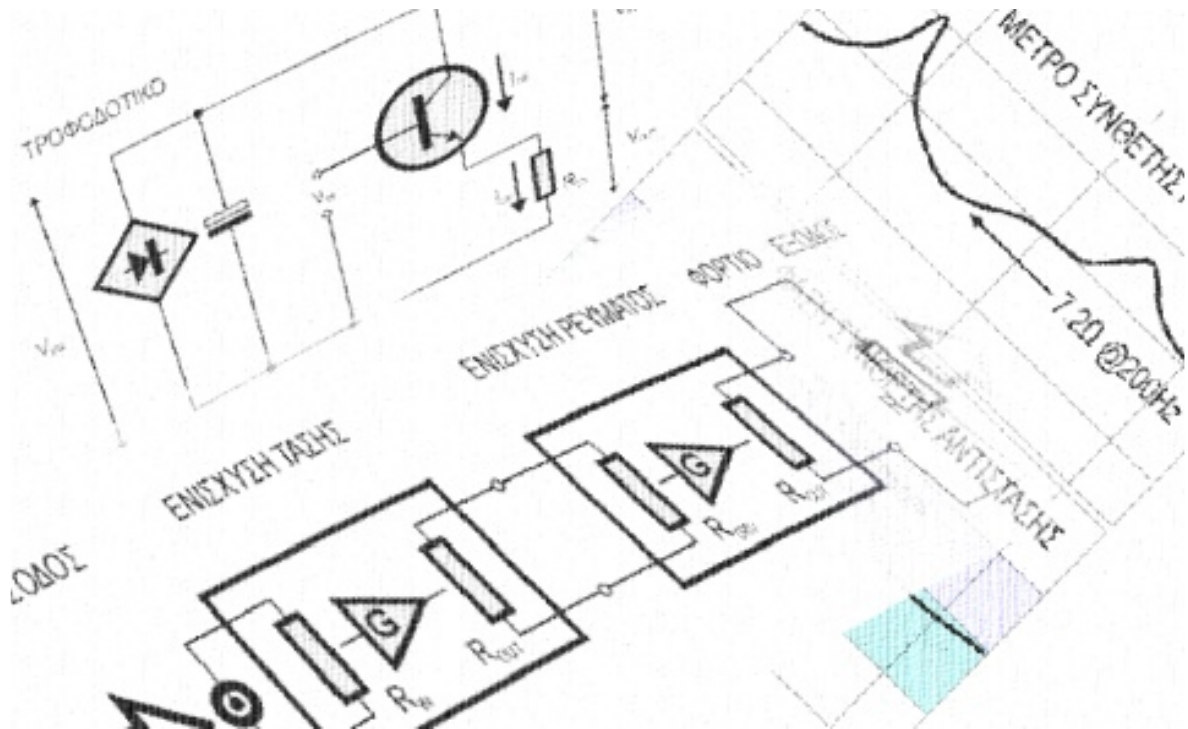


07/04/2010

Δημήτρης Σταματάκος

avmentor.gr

Η σχέση Ενισχυτή-Ηχείων



Η ιστορία χάνεται στο παρελθόν: Το 1906 ο Lee De Forest παρουσίασε το πρώτο ενεργό εξάρτημα που μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως ενισχυτής. Ήταν η τρίοδος και μπορούμε να θεωρήσουμε την χρονολογία αυτή ως την απαρχή του audio με την μορφή που το γνωρίζουμε σήμερα, βασισμένο δηλαδή σε ηλεκτρονικές ενισχυτικές διατάξεις. Η τρίοδος τα χρόνια εκείνα οδηγούσε ηχεία χαάνης, απ' ευθείας απογόνους της μηχανικής χαάνης του γραμμοφώνου που δεν είχαν καμία σχέση με αυτό που σήμερα ονομάζουμε "μεγάφωνο". Αυτό χρειάστηκε κάτι λιγότερο από είκοσι χρόνια για να πάρει την τελική του μορφή: Το 1925, οι Rice και Kellogg που τότε εργάζονταν για την General Electric περιέγραψαν την αρχή λειτουργίας ενός μεγαφώνου κινούμενου πηνίου και την ίδια χρονιά, ο Edward Wente των εργαστηρίων Bell πήρε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το θέμα αυτό. Δεν είναι γενικώς γνωστές οι αιτίες που η Bell "νίκησε" την General Electric σε κάτι που αργότερα απέκτησε τόσο μεγάλη σημασία, το

βέβαιο είναι ότι λίγο πριν το 1930 είχαμε στη διάθεσή μας τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούμε και σήμερα: Ένα διάφραγμα με κάποια συγκεκριμένη έκταση που κινείται από ένα πηνίο φωνής, το οποίο για την κίνησή αυτή απορροφά ισχύ που ελέγχεται από ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα. Ένα σήμα πολύ μικρής ισχύος στην είσοδο του συστήματος αυτού αρκεί για να δημιουργήσει στην έξοδο του σεβαστές (δηλαδή... ακουστές) διακυμάνσεις ηχητικής πίεσης στον χώρο.

Χρειάστηκαν κάτι παραπάνω από 17 χρόνια για να δημιουργηθεί η ιδέα της υψηλής πιστότητας. Ιστορικά, μπήκαμε στον χώρο του high fidelity με την παρουσίαση του ενισχυτή Williamson, το 1947, καθώς είναι ίσως ο πρώτος που διαφοροποιήθηκε από τα υπόλοιπα κυκλώματα της εποχής με κριτήριο την ποιότητά του. Από τότε έχουμε κάνει μεγάλα βήματα τόσο προς την κατεύθυνση βελτίωσης των ηχείων όσο και προς την κατεύθυνση βελτίωσης των ενισχυτών, ωστόσο το ζητούμενο είναι πάντοτε ένα: Με δεδομένα μια πηγή ήχου

της οποίας τα χαρακτηριστικά εξόδου είναι -συνήθως- πολύ καλά ορισμένα, έναν χώρο και μια θέση ακρόασης σε αυτόν οφείλουμε να βρούμε, κάθε φορά, την βέλτιστη απάντηση στο ερώτημα: Ποιά είναι τα χαρακτηριστικά του ενισχυτή και του ηχείου που χρειάζονται ώστε το αποτέλεσμα να είναι το σωστό; Μια αρχική απάντηση στο ερώτημα αυτό θα μπορούσε να είναι ότι το χειρότερο ποιοτικά μέλος του ζεύγους "ενισχυτής-ηχείο" καθορίζει την μέγιστη ποιότητα που μπορούμε να αναμένουμε. Αυτό είναι σωστό και προς την κατεύθυνση αυτή έχουμε αναπτύξει πολλά και ενδιαφέροντα κριτήρια και προβληματισμούς. Ωστόσο, υπάρχει και κάτι άλλο: Η ηλεκτρική σχέση μεταξύ του ενισχυτή και του ηχείου φαίνεται ότι μπορεί να επηρεάσει, ενίοτε πολύ άσχημα, την απόδοση με τρόπους που δεν είναι εύκολα ορατοί ή ακόμη και κατανοητοί. Με άλλα λόγια, θα πρέπει ο ενισχυτής να οδηγεί -όπως είναι ο όρος- το ηχείο σωστά. Αυτό γράφεται εύκολα αλλά για να γίνει αντιληπτό σε βάθος

χρειάζεται μια κάποια προσπάθεια η οποία μπορεί να ξεκινήσει με την κατασκευή ενός απλού μοντέλου που περιλαμβάνει όλα τα εμπλεκόμενα μέρη.

Ένα απλό μοντέλο: Κέρδος, Αντιστάσεις, Τάσεις και Ρεύματα

Σκεφθείτε λίγο το cd player σας: Είναι μια συσκευή της οποίας η έξοδος είναι εξαιρετικά προβλέψιμη. Στα χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής αναφέρεται η μέγιστη στάθμη εξόδου του (σε Vrms με αναφορά την μέγιστη ψηφιακή στάθμη 0dBFS), άντε το πολύ-πολύ και η αντίσταση εξόδου η οποία είναι μερικές εκατοντάδες Ω. Το σύνολο σχεδόν μιας αλυσίδας audio, από το μικρόφωνο της ηχογράφησης μέχρι την πηγή αυτή, υπάγεται σε έναν τεχνολογικό παράδεισο χαμηλών ρευμάτων και μεγάλων αντιστάσεων. Το μόνο που διαχειρίζονται οι συσκευές αυτές είναι τάσεις που εφαρμόζονται σε υψηλές αντιστάσεις και απαιτούν πολύ χαμηλά ρεύματα. Όλα είναι εύκολα, δροσερά και μικρά σε μέγεθος καθώς η ισχύς παραμένει σε αμελητέα επίπεδα και οι θερμικές απώλειες είναι ανεπαίσθητες. Τι συμβαίνει στο σύστημά μας από τον τελικό ενισχυτή και μετά και όλα μεγαλώνουν και θερμαίνονται; Ένα απλό μοντέλο τελικού ενισχυτή ηχείου μπορεί να μας βοηθήσει να καταλάβουμε τι γίνεται.

Η έξοδος ενός προενισχυτή είναι αντίστοιχη με αυτήν ενός cd player ή κάποιας άλλης πηγής; Συνδέεται με την είσοδο ενός τελικού ενισχυτή και η είσοδος αυτή έχει συνήθως μεγάλη αντί-

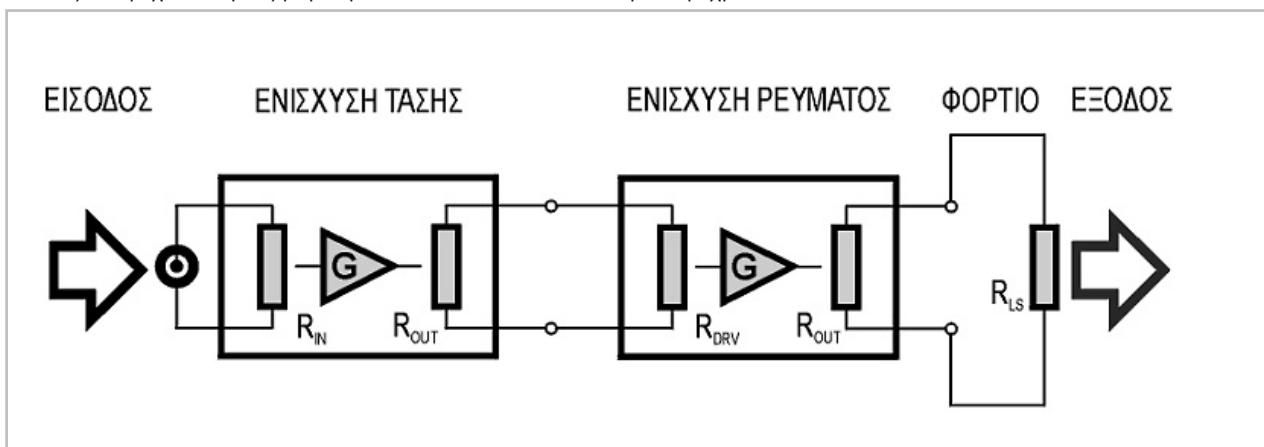
σταση (Rin), απαιτεί δηλαδή πολύ μικρό ρεύμα από τον προενισχυτή. Ο τελικός ενισχυτής ξεκινά, συνήθως, από ένα στάδιο με μεγάλη ενίσχυση τάσης (G), πολλαπλασιάζει δηλαδή την τάση του σήματος εισόδου επί κάποιον συντελεστή (το κέρδος) και εμφανίζει το σήμα που προκύπτει στην έξοδό του. Το στάδιο αυτό έχει μια αντίσταση εξόδου (Rout) και οδηγεί ένα δεύτερο κομμάτι του τελικού, το οποίο προσφέρει κέρδος ρεύματος (G). Η έννοια του κέρδους ρεύματος είναι λίγο πιο λεπτή από το κέρδος τάσης επειδή στην κλασική ηλεκτροτεχνία το ρεύμα είναι ευκολότερα αντιληπτό ως επακόλουθο της εφαρμογής τάσης σε μια αντίσταση. Στην πραγματικότητα, λοιπόν, το στάδιο ισχύος (διότι περί αυτού πρόκειται) δεν είναι τίποτε άλλο παρά ένας ενισχυτής με μηδενικό (ή ελάχιστο) κέρδος τάσης ο οποίος διαθέτει τα απαραίτητα εξαρτήματα ώστε να διαχειριστεί το ρεύμα που απαιτεί το ηχείο όταν στα άκρα του εφαρμοστεί η τάση που δημιουργήθηκε από το πρώτο στάδιο. Από την πλευρά του νόμου του Ωμ, ένας τελικός ενισχυτής μπορεί, κάπως απλοϊκά αλλά όχι εσφαλμένα, να περιγραφεί με έναν πολλαπλασιασμό και μια διαίρεση ως εξής: Η τάση εξόδου του ενισχυτή τάσης είναι το γινόμενο της τάσης εισόδου επί το κέρδος (ας πούμε $1V \times 80 = 80V$) και το ρεύμα εξόδου του ενισχυτή ρεύματος (του σταδίου ισχύος δηλαδή) είναι η τάση εξόδου του (που είναι ίση με αυτήν της εισόδου αφού δεν έχουμε κέρδος) προς την αντίσταση του ηχείου (για το συγκεκριμένο παράδειγμα, με ένα ηχείο 8Ω, $80/8 = 10A$).

Ενώ όλα τα κυκλώματα μέχρι το τελικό

στάδιο διαχειρίζονται σχεδόν μηδενικά ρεύματα, ο τελικός ενισχυτής διαχειρίζεται ένα σεβαστό ρεύμα και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αντίσταση ενός ηχείου είναι τρεις τάξεις μεγέθους μικρότερη από τις αντιστάσεις εισόδου όλων των υπόλοιπων κυκλωμάτων (τα οποία κινούνται στην περιοχή των δεκάδων κΩ). Τα πολύ μεγάλα ρεύματα που κυκλοφορούν στο στάδιο εξόδου απαιτούν από την αντίσταση του σταδίου αυτού (Rout) να είναι πολύ μικρή, κάτι που όπως θα δούμε αργότερα έχει την δική του σημασία. Ένα κομμάτι του απλού μοντέλου μας περιλαμβάνει την ζεύξη του ενισχυτή τάσης με τον ενισχυτή ρεύματος. Την αναφέρουμε όχι επειδή έχει σχέση με ό,τι θα ακολουθήσει αλλά επειδή την ζεύξη αυτή, την προσαρμογή δηλαδή της αντίστασης εξόδου του ενισχυτή τάσης με την αντίσταση εισόδου του ενισχυτή ρεύματος την αναλαμβάνει ένα μέρος του κυκλώματος που συζητείται συχνά όταν αναφερόμαστε σε τελικούς ενισχυτές, τα drivers.

Το επόμενο βήμα στην ανάλυσή μας θα πρέπει να είναι μια εξήγηση για το τι σημαίνει "ένισχυση ρεύματος". Ένας ενισχυτής ρεύματος είναι ένα κύκλωμα με μεγάλη αντίσταση εισόδου, ώστε οι τάσεις που εφαρμόζονται σε αυτήν να δημιουργούν ασθενή ρεύματα, πολύ μικρή αντίσταση εξόδου (ώστε το "ένισχυμένο" ρεύμα να μην προκαλεί μεγάλες απώλειες) μια διάταξη από την οποία μπορεί να αντληθεί το ρεύμα αυτό και -εννοείται- ένας τρόπος να ελέγ-

Ένα απλό μοντέλο που συνδέει την είσοδο ενός τελικού ενισχυτή, τα ενδιάμεσα στάδια και το ηχείο. Όλες οι αντιστάσεις είναι καθαρά ωμικές.



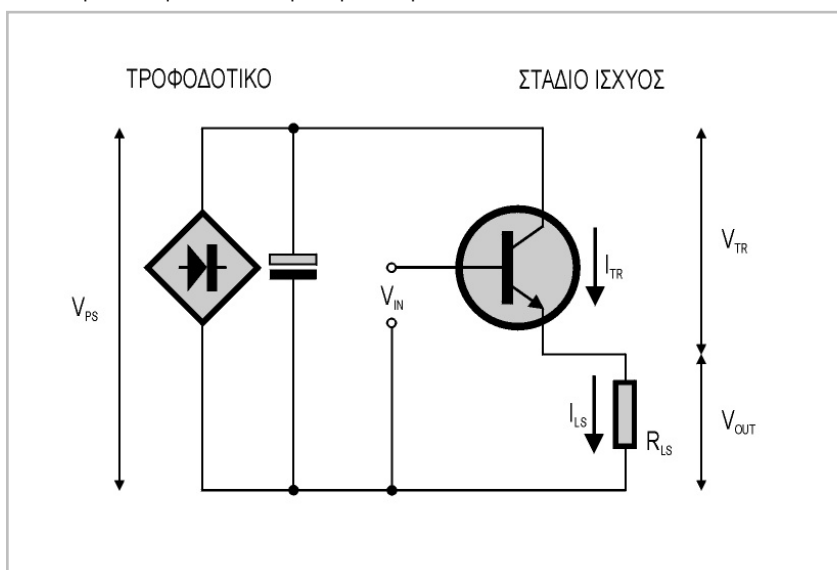
ξουμε τις μεγάλες τιμές ρεύματος, όπως επιθυμούμε. Πράγματι, ένα στάδιο ισχύος έχει μεγάλη αντίσταση εισόδου (και αν δεν έχει την προσαρμοζούν σε μεγάλες τιμές τα drivers), συνδέεται με ένα τροφοδοτικό που μπορεί να παρέχει επαρκείς για την εφαρμογή ποσότητες ενέργειας και διαθέτει κάποιο ενεργό εξάρτημα μέσω του οποίου γίνεται ο έλεγχος των υψηλών ρευμάτων που θα κληθεί να χειριστεί. Μια πολύ απλή εκδοχή ενός σταδίου ισχύος, λοιπόν, θα περιλαμβάνει ένα τροφοδοτικό, έναν ημιαγωγό (ένα διπολικό τρανζίστορ ως πούμε) και την αντίσταση του ηχείου (R_L) σε έναν κοινό βρόχο. Υποθέτοντας ότι ο ενισχυτής μας έχει μηδενικό κέρδος τάσης και πολύ μεγάλη αντίσταση εισόδου, ότι η τάση τροφοδοσίας του είναι 100V και το φορτίο στην έξοδο 8Ω, η λειτουργία του έχει ως εξής: Με τάση εισόδου 80V, η έξοδος -η τάση στα άκρα του ηχείου δηλαδή- θα είναι 80V και το ηχείο θα διαρρέεται από ρεύμα 10A. Τα 10A περνούν μέσα από τον ημιαγωγό και παρέχονται από το τροφοδοτικό. Επειδή η συνολική τάση (V_{PS}) είναι 100V και η τάση εξόδου (V_{out}) είναι 80V στα άκρα του ημιαγωγού υπάρχει τάση 20V η οποία σε συνδυασμό με τα 10A που απαιτεί το φορτίο μας προκαλεί μια ισχύ θερμικών απωλειών 200W (τα νούμερα φυσικά είναι εικονικά, για να γίνονται εύκολοι υπολογισμοί). Τις θερμικές απώλειες στα στάδια εξόδου τις γνωρίζουμε. Αυτό που δεν συνειδητοποιούμε είναι ότι με την απλή

αυτή ανάλυση, η ισχύς απωλειών είναι αυστηρά καθορισμένη: Αυξάνεται όσο αυξάνεται η ισχύς που απορροφά το φορτίο μέχρι την μέση τιμή της διαθέσιμης τάσης (όπου και παίρνει την μέγιστη τιμή της) και εν συνεχεία μειώνεται και πάλι όσο αυξάνεται η ισχύς στο φορτίο. Έξοδος 20V (δηλαδή ρεύμα 2.5A) προκαλεί απώλειες 200W (2.5Ax80V) όσες δηλαδή και η έξοδος των 80V! Φυσικά, αυτό γνωρίζουμε ότι δεν συμβαίνει στην πράξη. Όλοι έχουμε την εμπειρία ότι ο ενισχυτής θερμαίνεται με έναν τρόπο που εξαρτάται από το ίδιο το ηχείο και όχι από έναν πολλαπλασιασμό και έχουμε δίκιο, επειδή το ηχείο δεν συμπεριφέρεται ως μια απλή ωμική αντίσταση αλλά ως σύνθετη αντίσταση.

Σύνθετη Αντίσταση: Πιο σύνθετη από όσο νομίζετε...

Ένα ηχείο είναι από την φύση του ένα σύνθετο ηλεκτρομηχανικό σύστημα. Το γεγονός ότι χρειάστηκαν δεκαετίες μέχρι να παρουσιαστούν καλά μοντέλα της συμπεριφοράς του (από τους Thiele και Small για αρχή) δείχνει το πρόβλημά μας στο να το κατανοήσουμε με τρόπο εφαρμόσιμο. Στην πράξη, μάλιστα, εκτός των μεγαφώνων και των μηχανικών χαρακτηριστικών της καμπίνας έχουμε και ένα φίλτρο το οποίο προηγείται συμμετέχοντας στην συνολική συμπεριφορά του ηχείου, όπως την βλέπει ο ενισχυτής. Αυτό που συμβαίνει στην πραγματικότητα είναι ότι, ως

φορτίο, το ηχείο είναι μια σύνθετη αντίσταση (την οποία συχνά ονομάζουμε και εμπέδηση, impedance). Για πολλούς, "σύνθετη αντίσταση" είναι μια αντίσταση της οποίας η τιμή αλλάζει σε συνάρτηση με την συχνότητα, αλλά αυτό είναι μέρος μόνο της πραγματικότητας. Η αντίσταση του ηχείου αλλάζει, πράγματι, με την συχνότητα όπως φαίνεται και στα διάφορα διαγράμματα που δημοσιεύονται κατά καιρούς αλλά για να καταλάβουμε τι ακριβώς συμβαίνει θα πρέπει να κάνουμε ένα βήμα ακόμη, εξετάζοντας την χρονική σχέση τάσης και ρεύματος σε μια τέτοια σύνθετη αντίσταση. Στις κλασικές ωμικές αντιστάσεις της θεωρίας, η σχέση τάσης και ρεύματος είναι γραμμική, όπως προβλέπεται από τον νόμο του Ωμ ($I=V/R$). Την στιγμή που αυξάνουμε την τάση στα άκρα μιας τέτοιας αντίστασης, αυξάνεται και το ρεύμα μέσω αυτής, χωρίς καθυστέρηση. Το προφανές αυτό γεγονός δεν συμβαίνει στις σύνθετες αντιστάσεις όπου οι μεταβολές της τάσης αντιστοιχούν μεν σε μεταβολές του ρεύματος αλλά με κάποια καθυστέρηση. Σε έναν θεωρητικό πυκνωτή η τάση καθυστερεί να "ανέβει" ενώ αυτός διαρρέεται από υψηλό ρεύμα (λέμε ότι το ρεύμα προηγείται κατά 90 μοίρες της τάσης) ενώ φυσικά ο κλασικός, απλός νόμος του Ωμ δεν προβλέπει τέτοια συμπεριφορά. Αντιθέτως ένα θεωρητικό πηνίο παρουσιάζει αδράνεια στην ροή του ρεύματος. Η τάση μπορεί να αυξάνεται στα άκρα του αλλά το ρεύμα καθυστερεί να ακολουθήσει (λέμε ότι το ρεύμα έπεται της τάσης κατά 90 μοίρες). Όλα αυτά είναι, βεβαίως, θεωρητικά. Στην πράξη δεν υπάρχουν εξαρτήματα και συστήματα που να επιδεικνύουν καθαρή επαγωγική ή χωρητική συμπεριφορά αλλά υπάρχουν ενδιάμεσες συμπεριφορές. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και με τα ηχεία. Είναι σύνθετες αντιστάσεις των οποίων το μέτρο (σε Ω) και η φάση μεταβάλλονται με την συχνότητα ανάμεσα σε κάποιες τιμές. Για να περιγραφεί πλήρως η συμπεριφορά του ηχείου ως φορτίο, επο-



Απλό μοντέλο ενός σταδίου ισχύος, όπου φαίνεται το τροφοδοτικό, ο ημιαγωγός ισχύος και το φορτίο καθώς και οι τάσεις και τα ρεύματα που επικρατούν στο κύκλωμα.

μένως, δεν χρειαζόμαστε απλώς το διάγραμμα μεταβολής της αντίστασής του κατά μέτρο (πόσα Ωμ είναι, δηλαδή, σε κάθε συχνότητα) αλλά και το διάγραμμα φάσης, που δείχνει ποια είναι η διαφορά φάσης της τάσης και του ρεύματος σε κάθε συχνότητα. Ένα τέτοιο διάγραμμα μας δείχνει διάφορα πράγματα: Καταρχήν την ελάχιστη τιμή της αντίστασης στο φάσμα για παράδειγμα 7.2Ω στα 200Hz, την μέγιστη τιμή της, για παράδειγμα 30Ω στα 60Hz καθώς και κατά πόσον το ηχείο συμπεριφέρεται επαγωγικά (δηλαδή εισάγει καθυστέρηση στο ρεύμα) και κατά πόσον χωρητικά (εισάγει δηλαδή προπορεία).

Σε ένα διάγραμμα Bode (όπως ονομάζονται αυτά τα "διπλά" διαγράμματα) παρατηρεί κανείς το εξής ανησυχητικό: Το ηχείο παρουσιάζει ωμική συμπεριφορά σε ελάχιστες συχνότητες, ενώ σε οποιοδήποτε άλλο σημείο του φάσματος είναι άλλοτε χωρητικό, εισάγοντας αρνητική διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος (το ρεύμα προηγείται) είτε επαγωγικό, εισάγοντας θετική διαφορά φάσης (το ρεύμα έπεται). Ποιες είναι οι επιπτώσεις όλων αυτών; Το μέτρο της αντίστασης μας δείχνει πόσο ρεύμα απαιτεί το ηχείο μας σε κάθε συχνότητα από τον ενισχυτή. Ένα χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει είναι η ελάχιστη αντίσταση επειδή αυτή καθορίζει, πρώτον, την περιοχή όπου η οδήγηση είναι δυσκολότερη και, δεύτερον, μια τιμή αντίστασης η οποία υπολογίζεται ως το 1.15 της ελάχιστης και ονομάζεται "τυπική αντίσταση" του ηχείου (nominal impedance). Η φάση της αντίστασης μας βοηθά να καταλάβουμε πόσο ταλαιπωρεί θερμικά τον ενισχυτή μας το ηχείο και σε ποια συχνότητα.

Για να γίνει κατανοητό αυτό αξίζει να επανέλθουμε στο αρχικό, απλό μοντέλο μας όπου η τάση και το ρεύμα συμβαδίζουν. Μια στάθμη εξόδου 80V στα 100Hz (όπου η αντίσταση, σύμφωνα με το διάγραμμα είναι 10Ω) προκαλεί ρεύμα 8A (80/10) και η ισχύς που καταναλώνεται στο ηχείο είναι $80 \times 8 = 640W$ (θυμίζω ότι μιλάμε για οικονομικές τιμές). Η συνολική ισχύς που αποδίδει ο ενισχυτής είναι αυτά τα 640W αθροισόμενα με την ισχύ θερμικών απωλειών (20V στα άκρα του ημιαγωγού

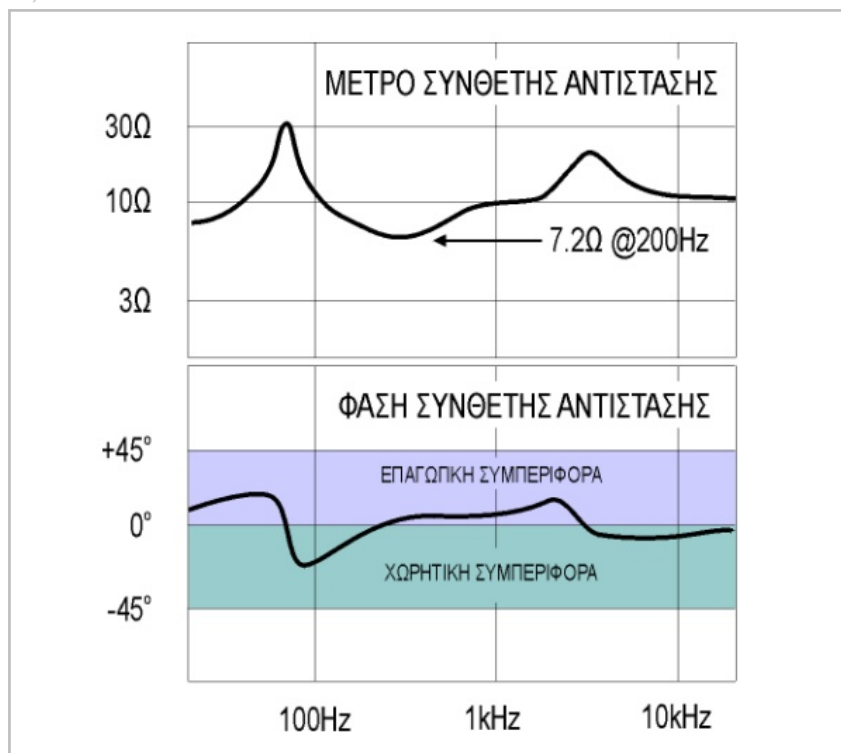
με ρεύμα 8A), $20 \times 8 = 160W$ με το σύνολο $640W + 160W = 800W$, αποτέλεσμα αναμενόμενο από την στιγμή που έχουμε στα χέρια μας ένα τροφοδοτικό τάσης 100V το οποίο αποδίδει 8A. Ωστόσο, το διάγραμμα μας δεν δείχνει απλώς ότι το ηχείο έχει αντίσταση 8Ω, την συγκεκριμένη χρονική στιγμή, αλλά και ότι υπάρχει μια διαφορά φάσης περίπου 20 μοιρών (χωρητική, δηλαδή η τάση έπεται του ρεύματος). Αυτό αλλάζει τον υπολογισμό της ισχύος επάνω στο ηχείο, εισάγοντας το περίφημο "συννημίτονο φ", την γωνία της διαφοράς φάσης. Τώρα, με βάση την θεωρία, η ισχύς που αποδίδει ο ενισχυτής στο φορτίο του είναι $80 \times 8 \times \cos(20) = 601.4W$, περίπου 40W λιγότερα από ότι αν η αντίσταση ήταν ωμική. Το πρόβλημα, φυσικά, είναι ότι τα 40W δεν χάνονται αλλά καταναλώνονται στο στάδιο ισχύος ως θερμότητα, $800 - 601.4 = 198.6W$, τιμή αυξημένη σε σχέση με τα 160W που υπολογίσαμε με την ωμική αντίσταση. Το παράδειγμα είναι αρκετά φιλικό προς τους ενισχυτές. Στην αγορά κυκλο-

φορούν ηχεία που εισάγουν διαφορές φάσης ίσως και πάνω από 50 μοίρες, έχουν πολύ χαμηλότερες ελάχιστες αντιστάσεις και, το χειρότερο, πιο συχνά από όσο θα έπρεπε, η ελάχιστη αντίσταση μπορεί να συμπέσει με την μεγαλύτερη διαφορά φάσης (ή να βρίσκεται στην ίδια ευρύτερη περιοχή), φορτίζοντας τον ενισχυτή ταυτοχρόνως και με υψηλό ρεύμα και με ένα "μικρό" $\cos(\varphi)$. Οι απώλειες στο στάδιο ισχύος αυξάνονται κατακόρυφα και, συχνά, το προστατευτικό του ενισχυτή ενεργοποιείται χωρίς προφανή αιτία ("μα δεν άκουγα πολύ δυνατά...").

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε τα εξής:

Το ηχείο είναι μια σύνθετη αντίσταση με μέτρο και φάση. Το μέτρο καθορίζει το ρεύμα που θα κληθεί να δώσει ο ενισχυτής ενώ η φάση τις θερμικές απώλειες που υπάρχουν στο στάδιο εξόδου. Για να χαρακτηρίσουμε ένα ηχείο ως εύκολο ή δύσκολο φορτίο δεν αρκεί μόνο το διάγραμμα του μέτρου της αντίστασης αλλά και το διάγραμμα της φάσης. Τα χειρότερα φορτία είναι αυτά με χαμηλό μέτρο αντίστασης που συμπίπτει ή βρίσκεται στην γειτονιά μεγάλων διαφορών φάσης. Έχοντας όλα αυτά υπόψιν μας γίνεται αντιληπτό ότι

Ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται κατά μέτρο (επάνω) και φάση (κάτω) η αντίσταση ενός ηχείου. Μπορούμε να διακρίνουμε την ελάχιστη τιμή αντίστασης καθώς και την συμπεριφορά της (επαγωγική ή χωρητική) ανάλογα με την διαφορά φάσης που εισάγει μεταξύ τάσης και ρεύματος.



αν θέλουμε να είμαστε σίγουροι ότι ένας ενισχυτής είναι γενικής χρήσης (οδηγεί δηλαδή τα περισσότερα ηχεία με άνεση) τότε θα είναι ένας μεγάλος ενισχυτής, τόσο σε δυνατότητες ρεύματος όσο και σε δυνατότητες ψύξης. Όσον αφορά τις τελευταίες το πράγμα είναι απλό: Χρησιμοποιούνται ημιαγωγοί με μεγάλη αντοχή σε θερμότητα και ανάλογες ψύκτρες. Όσον αφορά την οδήγηση, η θεωρία έχει έναν όρο για τους ενισχυτές που μπορούν να οδηγήσουν "δύσκολα" φορτία. Τους κατατάσσει στις πηγές τάσης.

Πηγές Τάσης, Συντελεστής Απόσβεσης, Απόδοση και Ευαισθησία

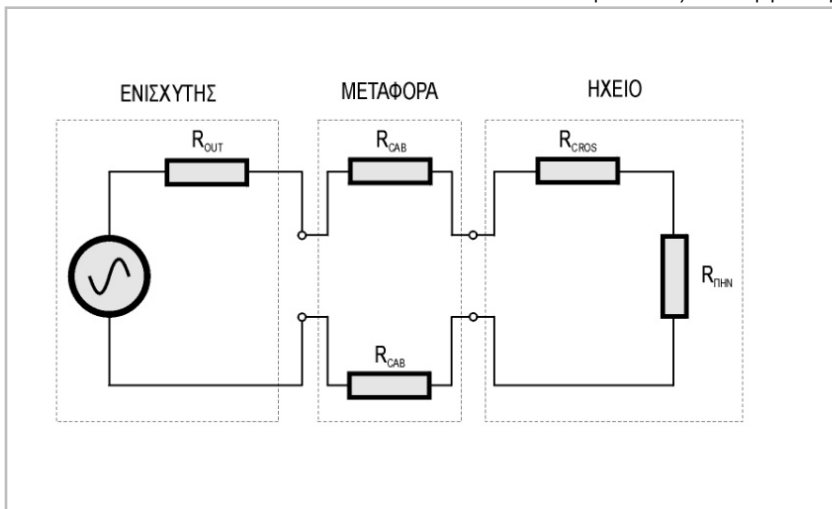
Μια πηγή τάσης είναι, κατά την θεωρία, μια ιδεατή πηγή η οποία μπορεί να διατηρήσει σταθερή την τάση εξόδου της (την οποία έχουμε επιλέξει εμείς) ανεξαρτήτως του φορτίου της. Αυτό σημαίνει ότι αν έχουμε μια πηγή τάσης 100V και συνδέσουμε ένα φορτίο 10Ω, η πηγή μας αποδίδει ρεύμα 10A, αν το φορτίο γίνει 5Ω, αποδίδει 20A, στα 2Ω το ρεύμα φτάνει 50A και στο 1Ω τα 100A. Αν εξασφαλίσουμε το αδύνατον, δηλαδή το μη καταστραφεί η πηγή από την θερμότητα των 100A που την διαρρέουν, και αυτό στην θεωρία γίνεται, τότε το μόνο πράγμα που βρίσκεται ανάμεσα στην θεωρητική πηγή τάσης και σε μια όχι-και-τόσο-καλή πηγή τάσης είναι ένα μέγεθος που ονομάζεται εσωτερική αντίσταση. Η εσωτερική αντίσταση της πηγής διαρρέεται από το

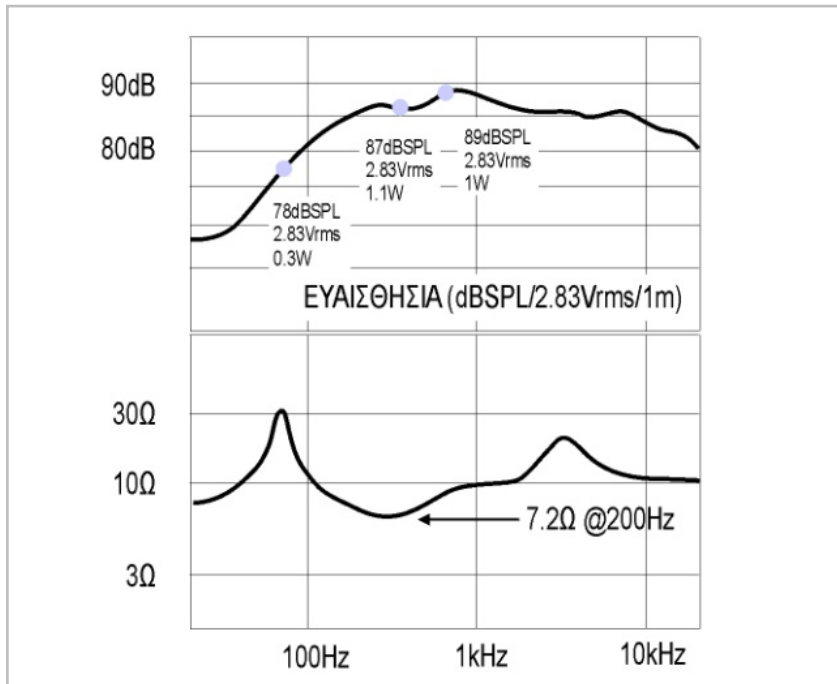
ρεύμα του φορτίου και όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο υψηλότερη πτώση τάσης προκαλεί με βάση τον νόμο του Ωμ ($V=IxR$). Αν η πηγή του παραδείγματος έχει εσωτερική αντίσταση 1Ω, τότε το σύνολο του φορτίου είναι πλέον $10+1=11\Omega$, το ρεύμα που αποδίδεται $100/11=9.1A$, η πτώση τάσης στην εσωτερική αντίσταση είναι $9.1x1=9.1V$ και η τάση στα άκρα του φορτίου είναι $100-9.1=90.9V$. Η πηγή μας δεν είναι, επομένως, μια ιδανική πηγή τάσης (και φυσικά οι ιδανικές πηγές τάσης είναι θεωρητικό κατασκεύασμα). Αυτός είναι ένας λόγος που θέλουμε ένα στάδιο ισχύος να έχει πολύ χαμηλή εσωτερική αντίσταση (υπάρχουν και άλλοι, που θα τους δούμε στη συνέχεια). Σε σχέση με το χονδροειδές παράδειγμα μας, ένας πραγματικός ημιαγωγικός τελικός ενισχυτής μπορεί να έχει εσωτερική αντίσταση (αντίσταση εξόδου) μεταξύ 0.01 και 0.04Ω. Τα λαμπάτα στάδια εξόδου είναι πολύ χειρότερα στο σημείο αυτό: κυμαίνονται μεταξύ 0.7 και 3.3Ω, είναι δηλαδή 70-80 φορές χειρότερα ως πηγές τάσης και αυτό δεν είναι άποψη, αλλά θεωρία.

Πέραν της πολύ καλής επίδοσης σε θέματα ρεύματος, η χαμηλή αντίσταση εξόδου ενός ενισχυτή μας ενδιαφέρει και για έναν άλλο λόγο. Τον σωστό έλεγχο του ηχείου, μια εξόχως γενική και ενίοτε κακοποιημένη έννοια η οποία σχετίζεται με ένα μέγεθος που ονομάζεται συντελεστής απόσβεσης. Στην πραγματικότητα, όταν λέμε "έλεγχο του ηχείου" αναφερόμαστε στην γρήγορη απόσβεση των ταλαντώσεων ενός κώνου όταν πάψει αυτός να ενεργοποιη-

ται από σήμα (ή όταν το σήμα αλλάξει πολύ σε συχνότητα και πλάτος, κάτι που είναι σχεδόν το ίδιο). Επειδή ο κώνος ενός μεγαφώνου έχει μάζα και αναρτάται ελαστικά, έχει και αδράνεια δηλαδή την τάση να συνεχίσει να διατηρεί την κίνησή του ακόμη και όταν εμείς αλλάξουμε το αρχικό σήμα. Η κίνησή του αυτή παράγει μια τάση στην είσοδο του ηχείου, με άλλα λόγια το μεγάφωνο λειτουργεί στιγμιαία ως γεννήτρια. Ο καλύτερος τρόπος να αποσβέσουμε την κίνηση που έχει μορφή ταλαντώσεων με κάποια απόσβεση, είναι η εφαρμογή της αρχής της ηλεκτρομαγνητικής πύξης όπου ένας κινητήρας, ο οποίος λόγω αδράνειας λειτουργεί ως γεννήτρια, "φρενάρει" επάνω σε ένα βαρύ φορτίο το οποίο τραβά πολύ ρεύμα. Το φορτίο εν προκειμένω είναι ό,τι βλέπει το ηχείο από την είσοδό του, δηλαδή η αντίσταση εξόδου του ενισχυτή. Όσο μικρότερη είναι αυτή τόσο ισχυρότερη η πύξη μας και τόσο καλύτερη η απόσβεση. Ο συντελεστής απόσβεσης είναι, ακριβώς, ο λόγος της τυπικής τιμής των 8Ω προς την αντίσταση εξόδου του ενισχυτή. Για έναν ενισχυτή με αντίσταση εξόδου 0.01Ω ο λόγος αυτός είναι 800. Φυσικά, υπάρχουν κι εδώ προβλήματα. Το κύκλωμα μας από τον ενισχυτή στο ηχείο περιλαμβάνει, εκτός της αντίστασης εξόδου του ενισχυτή τις ωμικές αντιστάσεις όλων των εξαρτημάτων του κροσόβερ (και κυρίως των πηνίων του), την ωμική αντίσταση των πηνίων φωνής των μεγαφώνων καθώς και τις ωμικές αντιστάσεις των καλωδίων σύνδεσης. Μερικοί υπολογισμοί θα μας δείξουν ότι η κατάσταση δεν είναι καθόλου αμελητέα: Χρησιμοποιώντας καλώδια ηχείων από χαλκό με διάμετρο 1.8mm (αντίσταση 0.025Ω/m/κλάδο, R_{cab}) και μήκος 3m προσθέτουμε στην αντίσταση εξόδου του ενισχυτή $3x0.05=0.15\Omega$, ένα πηνίο στο δρόμο του σήματος προσθέτει 0.5Ω και μια λογική τιμή για τα πηνία

Ένα μοντέλο μεταφοράς του σήματος από τον ενισχυτή στο ηχείο, όπου το στάδιο ισχύος προσδιορίζεται ως πηγή σταθερής τάσης (με εσωτερική αντίσταση R_{out}), τα καλώδια σύνδεσης αντιστοιχίζονται με τις αντιστάσεις των κλάδων τους (R_{cab}) και το ηχείο περιλαμβάνει μια αντίσταση που αφορά στο φίλτρο (R_{cros}) και μια αντίσταση που αφορά στα πηνία φωνής ($R_{pην}$).





Όταν η μέτρηση της ευαισθησίας γίνεται με αναφορά μια τάση επί μιας αντίστασης (εδώ 2.83V/8Ω) το αποτέλεσμα δεν μπορεί να εκφραστεί υπό σταθερή ισχύ, επειδή -στην πράξη- η αντίσταση του ηχείου μεταβάλλεται.

φωνής είναι 6Ω. Επομένως, ο συντελεστής απόσβεσης υπολογισμένος στον πραγματικό κόσμο θα είναι $8/(0.01+0.15+0.5+6)=1.20$, ένα αποτέλεσμα καθόλου ικανοποιητικό με βάση το ότι σύμφωνα με την βιβλιογραφία ο συντελεστής απόσβεσης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 20. Επομένως, το να ισχυρίζεται ένας κατασκευαστής ενισχυτών ότι το προϊόν του έχει συντελεστή απόσβεσης 1000 δεν σημαίνει τίποτε περισσότερο παρά το ότι έχει πολύ χαμηλή αντίσταση εξόδου. Είναι οι αντιστάσεις που ακολουθούν τον ενισχυτή (και ιδίως αυτές που βρίσκονται στο εσωτερικό του ηχείου) ο καθοριστικός παράγοντας και όχι ο ίδιος ο ενισχυτής!

Τέλος, η αντίσταση εξόδου του ενισχυτή παίζει ρόλο και σε μια ακόμη παράμετρο λειτουργίας του συστήματος, αυτήν της επίδρασης της μεταβολής της αντίστασης στην απόκριση συχνότητας. Ας δούμε πως γίνεται αυτό: Ας ονομάζουμε R1 την συνολική αντίσταση του κυκλώματος από τον ενισχυτή μέχρι την είσοδο του ηχείου και R2 την αντίσταση του ίδιου του ηχείου. Η R1 (το άθροισμα της αντίστασης εξόδου

του ενισχυτή και της αντίστασης του καλωδίου) σχηματίζει με την R2 ένα δίκτυο που ονομάζεται "διαιρέτης τάσης". Η έξοδος του δικτυώματος αυτού (ας την πούμε Vout) είναι η τάση που εφαρμόζεται στο ηχείο ενώ η είσοδος του (ας την πούμε Vin) η τάση εξόδου του ενισχυτή. Ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο του διαιρέτη τάσης υπάρχει η εξής σχέση: $V_{out}=V_{in} \times R2/(R1+R2)$. Επειδή γνωρίζουμε ότι η R2 μεταβάλλεται, η σχέση αυτή είναι ανησυχητική: Δείχνει ότι η τάση που εφαρμόζεται στο ηχείο εξαρτάται από την διακύμανση της R2, έχουμε δηλαδή μια πηγή προβλημάτων στην απόκριση συχνότητας εκεί που δεν το περιμέναμε! Ο μόνος τρόπος να εξασφαλίσουμε ότι δεν θα υπάρχει διακύμανση της τάσης είναι να αφήσουμε την R2 "μόνη" της στο κλάσμα, μηδενίζοντας την R1. Και επειδή η R1 αποτελείται από την αντίσταση εξόδου του ενισχυτή και την αντίσταση των καλωδίων σύνδεσης, τα καλώδια και η αντίστασή τους μπορεί να παίξουν πολύ άσχημο παιχνίδι στο σύστημά μας (η αντίσταση εξόδου του ενισχυτή είναι πολύ μικρή). Το επιμύθιο; Διαλέξτε ό,τι καλώδιο θέλετε, αλλά διαλέξτε κάτι με πολύ χαμηλή ωμική αντίσταση (δηλαδή με μεγάλη διατομή)! Φτάνοντας στο τέλος του δρόμου, είναι ίσως ενδιαφέρον να δούμε τι συμβαίνει και με το ίδιο το ηχείο. Αυτό είναι μία

ηλεκτρική μηχανή και όταν έχουμε να κάνουμε με μια ηλεκτρική μηχανή ένα από τα πράγματα που μας ενδιαφέρουν είναι ο συντελεστής απόδοσης. Ο συντελεστής απόδοσης είναι το ηλικό της ισχύος που αποδίδει η μηχανή μας προς την ισχύ που προσλαμβάνει. Επειδή πρόκειται για λόγο μεγεθών που μετρώνται με την ίδια μονάδα (Watt) είναι αδιάστατος και συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό. Ο συντελεστής απόδοσης μας ενδιαφέρει και στα ηχεία φυσικά, αλλά υπάρχει ένα σοβαρό πρόβλημα: Η μέτρηση της ακουστικής ισχύος απαιτεί από την πλευρά μας γνώση της ακουστικής εμπέδησης, της "αντίστασης" δηλαδή που βλέπει το ηχείο όταν ακτινοβολεί σε έναν χώρο. Αυτή η εμπέδηση όχι μόνο δεν είναι γνωστή, συνήθως, επειδή εξαρτάται από τις ιδιότητες του χώρου και την θέση του ηχείου σε αυτόν, αλλά εξαρτάται και από την κατευθυντικότητα του ίδιου του ηχείου.

Επομένως, είναι καταρχήν δύσκολο να μετρήσουμε τον συντελεστή απόδοσης και αν τον μετρήσουμε δεν σημαίνει και πολλά πράγματα σε έναν άλλο χώρο. Είμαστε, λοιπόν, υποχρεωμένοι να εφεύρουμε μια μέτρηση ευκολότερη και πιο χρήσιμη. Αυτή είναι η ευαισθησία.

Περί Ευαισθησίας...

Η ευαισθησία ενός ηχείου είναι ένα αυθαίρετο μέγεθος το οποίο χρησιμοποιείται για να μπορέσουμε να κάνουμε υπολογισμούς σε μια ηχητική εγκατάσταση. Αυτό που συνήθως θέλουμε είναι να μάθουμε αν ένα συγκεκριμένο ηχείο οδηγούμενο από έναν συγκεκριμένο ενισχυτή θα μπορέσει να δημιουργήσει μια ζητούμενη στάθμη σε μια συγκεκριμένη απόσταση. Επειδή οι ηχητικές εγκαταστάσεις σχεδιάζονται με βάση τις ανάγκες (και όχι τις συζύγους) θεωρούμε (αυθαίρετως, επίσης) ότι τα ηχεία κοιτούν τους ακροατές επομένως αυτοί βρίσκονται "στον άξονα". Επίσης, όταν επιλέγουμε έναν ενισχυτή τον πληρώνουμε "με το βατ" και όταν μετράμε την στάθμη χρησιμοποιούμε ένα ντεσιμπελόμετρο, επομένως το αυθαίρετο μέγεθός μας θα

πρέπει να συνδέει "βατ με dB SPL και απόσταση, στον άξονα". Έτσι προέκυψε η γνωστή έκφραση: dB SPL/w/m. Τυπικά, τώρα, η μέτρηση της ευαισθησίας γίνεται στην μεσαία περιοχή και αποτελεί έναν μέσο όρο ενός αριθμού μετρήσεων. Θεωρώντας ότι στην περιοχή αυτή η τυπική εμπέδηση ενός ηχείου είναι, υποτίθεται, 8Ω μπορούμε να εκφράσουμε την ευαισθησία με αναφορά σε τάση και όχι σε ισχύ. Αν επί μιας αντίστασης 8Ω εφαρμόσουμε μια τάση 2.83Vrms η ισχύς που καταναλώνεται (επομένως και αποδίδεται από τον ενισχυτή) είναι 1W. Κάποια στιγμή, αναπόφευκτα, η έκφραση της ευαισθησίας απέκτησε εναλλακτική μορφή, dB SPL/2.83Vrms/m και νέο όνομα, ευαισθησία τάσης (voltage sensitivity). Προφανώς, ένα ηχείο 4Ω μετρημένο με τάση αναφοράς τα 2.83V, απορροφά ισχύ 2W. Επομένως, η ευαισθησία του μετρημένη με αυτή τη μέθοδο εμφανίζεται ως υψηλότερη έναντι ενός 8Ωμους. Από την στιγμή που γνωρίζουμε την εμπέδηση, δεν υπάρχει πραγματικό πρόβλημα: Απλώς αφαιρούνται 3dB και καταλήγουμε σε αποτέλεσμα άμεσα συγκρίσιμο. Δεν υπάρχει αμφιβολία, ότι πολλοί κατασκευαστές που χρησιμοποιούν την προδιαγραφή "2.83V" το κάνουν εκ του πονηρού. Πριμοδοτούν το ηχείο τους κατά 3dB (αν είναι τετράωμο). Στην πράξη βεβαίως, γνωρίζουμε ότι η αντίσταση του ηχείου μεταβάλλεται συνεχώς σε συνάρτηση με την συχνότητα επομένως, ούτως ή άλλως τα 2.83V (ή οποιαδήποτε άλλη τιμή) δεν αντιστοιχεί συνεχώς στην ίδια ισχύ. Ένα ηχείο με αντίσταση 8Ω στα

800Hz έχει ευαισθησία 89dB SPL/2.83V/m και πράγματι αναφερόμαστε στο 1W, αλλά το ίδιο ηχείο, στα 200Hz έχει πέσει στα 7.2Ω επομένως η ισχύς που καταναλώνει στα 2.83Vrms είναι 1.1W και η ευαισθησία του έχει πέσει στα 87dB SPL/2.83V/m, ενώ ακόμη χαμηλότερα, στα 60Hz όπου η αντίσταση κορυφώνεται στα 30Ω αποδίδει 78dB SPL/2.83V/m αλλά καταναλώνει ισχύ 0.3W. Οι μετρήσεις της ευαισθησίας είναι λογικές (το ηχείο είναι μικρό και "κόβει" γρήγορα στις χαμηλές συχνότητες) αλλά δεν πρέπει να έχουμε την ψευδαίσθηση ότι όλες οι μετρήσεις έχουν γίνει στο 1W. Στην πραγματικότητα, αυτό δεν μας ενδιαφέρει και πολύ, όσο ο ενισχυτής μας προσεγγίζει τις ιδιότητες της πηγής τάσης, επομένως μπορεί να τροφοδοτήσει επαρκώς το φορτίο του με ρεύμα ακόμη και όταν η αντίσταση πέσει. Επιπροσθέτως, με δεδομένο ότι η μικρότερη αντίσταση τείνει να αυξήσει την ευαισθησία (επειδή "κρύβει" το ότι παρέρχουμε περισσότερα βατ) μπορούμε, πάντα, να χρησιμοποιήσουμε ως αναφορά όχι "ξερά" τα 2.83V αλλά την τάση που αντιστοιχεί στην πραγματική τυπική αντίσταση του ηχείου μας η οποία είναι, εξ' ορισμού, μόλις 15% υψηλότερη της ελάχιστης. Οι αποκλίσεις τότε θα είναι μικρές. Επί του πρακτέου, τώρα, την ευαισθησία την χρειαζόμαστε σε δύο περιπτώσεις: Στην σύγκριση δύο ηχείων (για να δούμε πιο είναι περισσότερο ευαίσθητο) και στον έλεγχο στάθμης (για να δούμε αν ένας συγκεκριμένος συνδυασμός ενισχυτή-ηχείου μπορεί να

Αναφορές

1. Acoustics, Leo L. Beranek, Acoustical Society of America, 1993 (1954)
2. High Performance Loudspeakers, 6th Edition Martin Colloms, Wiley, 2005
3. Sound Reproduction – Loudspeakers and Rooms, Floyd E. Toole, Focal Press, 2008
4. Συζήτηση περί ευαισθησίας στο forum του avmentor, <http://www.avmentor.eu/forum/>

αποδώσει τα δέοντα SPL).

Όταν συγκρίνουμε ηχεία, εννοείται ότι οι συγκρίσεις θα πρέπει να γίνονται μόνο μεταξύ ομοειδών μεγεθών: dB SPL/W/m με dB SPL/W/m και dB SPL/2.83Vrms/m με dB SPL/2.83Vrms/m. Στην δεύτερη περίπτωση οι τυπικές αντιστάσεις πρέπει να είναι ίδιες. Αν όχι, αφαιρούμε 3dB από το 4Ω. Δεν ασχολούμαστε με την διακύμανση της εμπέδησης (το τάδε ηχείο "πέφτει" στα 3Ω, κ.λπ), επειδή η ευαισθησία έχει οριστεί ως μέση τιμή στο midband.

Όταν ελέγχουμε τις δυνατότητες για δημιουργία στάθμης, τέλος, επειδή αγοράζουμε βατ και όχι βόλτ, οι υπολογισμοί γίνονται "με το βατ".

Θέλουμε επομένως την ευαισθησία σε dB SPL/W/m.

Αν δίδεται σε dB SPL/2.83Vrms/m θα πρέπει να κάνουμε αναγωγή:
 $2.83Vrms = 1Wrms/8\Omega$ ή
 $2.83Vrms = 2Wrms/4\Omega$.

avmentor

URL: <http://www.avmentor.gr/> © Ακραιές Εκδόσεις 2010