

διαδρομών κίνησης του πίσω μετώπου του ηχητικού κύματος, εμφανίζουν και μεγαλύτερες παραμορφώσεις.

1.6.2 Μεγάφωνα. Είναι ηλεκτρομηχανικές διατάξεις, οι οποίες δέχονται ηλεκτρική μεταβαλλόμενη ισχύ από τον ενισχυτή εξόδου και την μετατρέπουν σε ηχητική ισχύ ίδιας συχνότητας με την ηλεκτρική.



Σχήμα 1.6.2. Σετ μεγαφώνων "οβάλ"

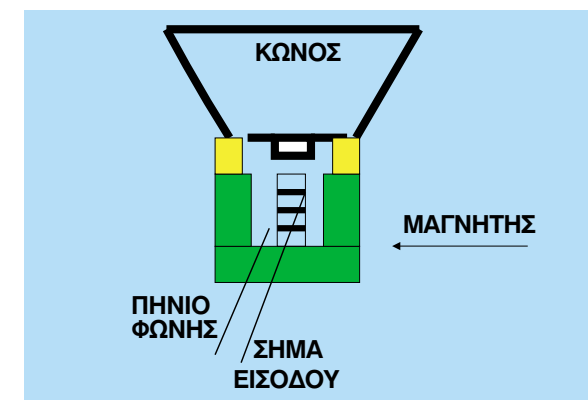
1.6.2.1 Μεγάφωνα Μόνιμου Μαγνήτη.

Κατασκευάζονται από μόνιμο μαγνήτη τύπου E, που στα εσωτερικά του σκέλη είναι τυλιγμένο το πηνίο φωνής.

Το πηνίο αποτελείται από σύρμα διαμέτρου 0,3 - 0,5mm, το οποίο τυλίγεται σε κύλινδρο από βακελίτη διαμέτρου 2-3cm και μήκους 3cm. Στο εμπρός μέρος του πηνίου φωνής είναι προσαρμοσμένος ο κώνος.

Ο κώνος είναι κατασκευασμένος από ειδικό χαρτί. Το σύστημα πηνίο φωνής-κώνος μπορεί να κινείται στο σκέλος του μαγνήτη. Η κίνηση εξασφαλίζεται με τη βοήθεια λεπτής κυκλικής μεμβράνης από ευλύγιστο πτυχωτό υλικό για να αυξάνεται η ευλυγισία του και στο κέντρο η μεμβράνη έχει άνοιγμα, ώστε να χωράει το κεντρικό σκέλος του μαγνήτη και το πηνίο φωνής. Η πτυχωτή μεμβράνη λέγεται SPANTER.

Όταν τροφοδοτηθεί το πηνίο φωνής με μεταβαλλόμενο ρεύμα αναπτύσσεται στα άκρα του μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο το οποίο συνδυάζεται με το μόνιμο μαγνητικό πεδίο του μαγνήτη. Έτσι προκαλείται κίνηση του πηνίου φωνής. Αυτό συμπαρασύρει τον κώνο, ο οποίος προκαλεί πυκνώματα και αραιώματα των μορίων του αέρα με αποτέλεσμα την παραγωγή ήχων ίδιας συχνότητας με τη συχνότητα του ρεύματος διέγερσης.



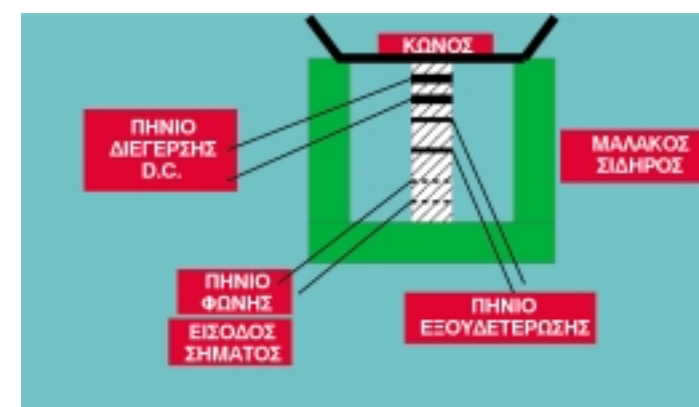
Σχήμα 1.6.2.1 Δομή Μεγαφώνου μόνιμου μαγνήτη

1.6.2.2 Ηλεκτροδυναμικά μεγάφωνα.

Είναι μεγάφωνα πηνίου φωνής με τη διαφορά ότι δεν έχουν μόνιμο μαγνήτη αλλά ηλεκτρομαγνήτη. Δηλαδή η μαγνήτιση του πυρήνα πραγματοποιείται με ιδιαίτερο πηνίο, το οποίο λέγεται πηνίο διέγερσης, που τροφοδοτείται με D.C. τάση. Η συγκρότηση πηνίου φωνής - σπάντερ - κώνος είναι ίδια με την αντίστοιχη μόνιμου μαγνήτη.

Επειδή όμως η τροφοδότηση του πηνίου διέγερσης με D.C. τάση προκαλείται από το σύστημα ανόρθωσης του ενισχυτή, παράγεται βόμβος 50Hz ή 100Hz ανάλογα με τον τρόπο ανόρθωσης. Έτσι απαιτείται και τρίτο ξεχωριστό πηνίο για την κατάργηση του βόμβου. Αυτό το πηνίο λέγεται πηνίο εξουδετέρωσης. Το πηνίο εξουδετέρωσης αποτελείται από λίγες σπείρες χοντρού σύρματος, οι οποίες περιβάλλουν το πηνίο διέγερσης, ενώ είναι ταυτόχρονα συνδεδεμένο σε σειρά με το πηνίο φωνής.

Στις δύο παραπάνω περιπτώσεις κατασκευής μεγαφώνων η σύνθετη αντίσταση είναι από 2,5 Ω έως 16 Ω, η δε διάμετρος από 2 έως 15 ίντσες.



Σχήμα 1.6.2.2 Δομή Ηλεκτροδυναμικού Μεγαφώνου

1.6.2.3 Μεγάφωνα Χοάνης ή Κόρνες.

Επειδή τα μεγάφωνα έχουν μικρή απόδοση περίπου 8% τα χρησιμοποιούμε σε κλειστούς χώρους. Όταν απαιτείται μεγάλη ακουστική απόδοση χρησιμοποιούμε τα μεγάφωνα χοάνης ή τις γνωστές κόρνες.

Μία κόρνα συνίσταται από την ηχητική κεφαλή και από τη χοάνη.

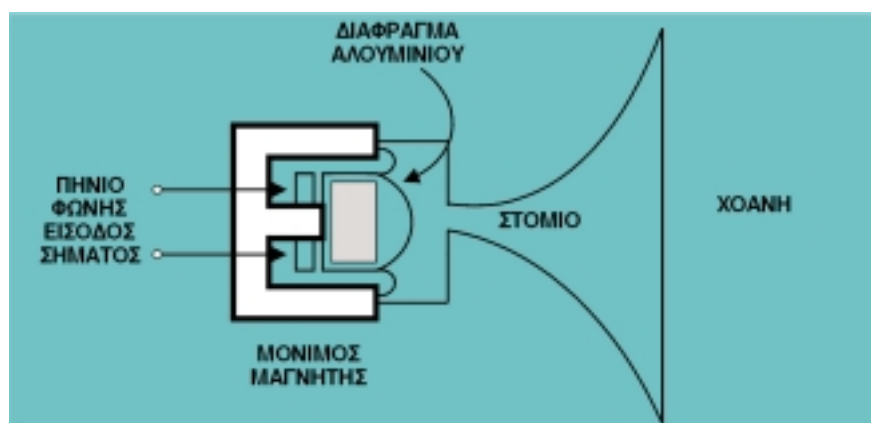
Η ηχητική κεφαλή περιλαμβάνει ένα ισχυρό μόνιμο μαγνήτη, το πηνίο φωνής και μία μεταλλική μεμβράνη συνήθως από αλουμίνιο.

Η χοάνη τοποθετείται στον οπλισμό του μαγνήτη έτσι, ώστε στο στόμιο και στο διάφραγμα να σχηματίζεται ένας ηχητικός θάλαμος. Η χοάνη παίζει το ρόλο προσαρμογής μεταξύ του ελεύθερου χώρου και του θαλάμου.

Στην πράξη η χοάνη μετασχηματίζει την ακουστική ισχύ υψηλής πίεσης αλλά χαμηλής ταχύτητας του ηχητικού θαλάμου σε ισχύ χαμηλής πίεσης και υψηλής ταχύτητας στον ελεύθερο χώρο. Έτσι έχουμε αύξηση της απόδοσης κατά 90% και την ακουστική ισχύ συγκεντρωμένη στον κεντρικό άξονα της χοάνης.

Η πιστότητα όμως στις κόρνες δεν είναι πολύ καλή όπως στα μεγάφωνα και ανταποκρίνονται σε συχνότητες από 200Hz έως 8000Hz. Χρησιμοποιούνται πιο πολύ για ομιλίες ανοικτών χώρων παρά για μουσική.

Η ισχύς στις κόρνες ποικίλει από 20W έως 60W και η σύνθετη αντίσταση είναι 4,8, 16, 32 Ω.

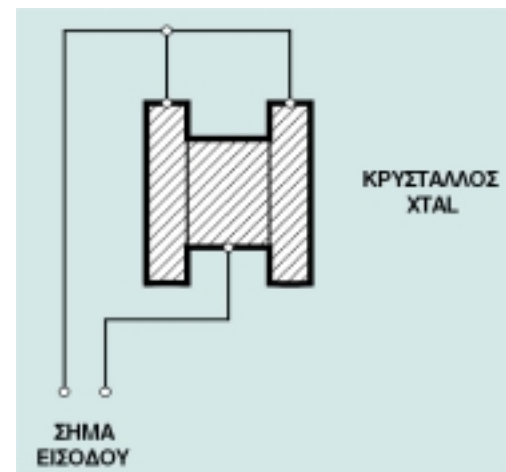


Σχήμα 1.6.2.3 Δομή Μεγαφώνου Χοάνης (Κόρνα)

1.6.2.4 Πιεζοηλεκτρικά Μεγάφωνα Κόρνας (Κορνάκια).

Κατασκευάζονται για να αποδίδουν τις υψηλές συχνότητες του ακουστικού φάσματος. Αποτελούνται από τον πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο και την κυρίως κόρνα. Ο κρύσταλλος δέχεται τη μεταβαλλόμενη τάση από την έξοδο του τελικού ενισχυτή και μετατρέπει μεγάλο ποσοστό αυτής της ενέργειας σε ακουστική. Ο κρύσταλλος ουσιαστικά αποτελείται από δύο κεραμικούς δίσκους ανάμεσα στους οποίους υπάρχει τρίτος δίσκος με επινικελωμένο

πολυεστέρα. Ο ένας ακροδέκτης είναι ο μεσαίος δίσκος και ο άλλος ακροδέκτης είναι ο βραχυκυκλωμένος συνδυασμός των δύο εξωτερικών δίσκων.



Σχήμα 1.6.2.4 Κρύσταλλος μεγαφώνου κόρνας

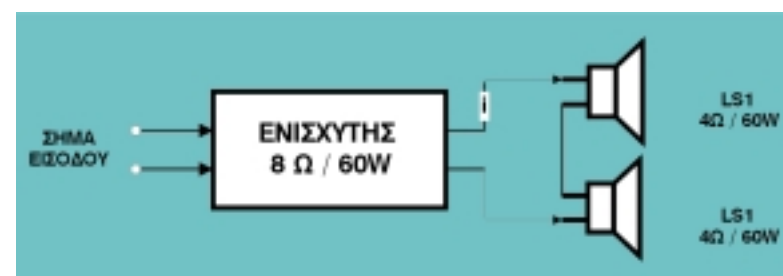
Στο κέντρο των δίσκων προσαρμόζεται ένας μικρός κώνος, ο οποίος σκοπό έχει να μεταφέρει τις δονήσεις στην είσοδο της κόρνας.

Όταν ο κρύσταλλος τροφοδοτηθεί με Α.Φ. τότε αυτός δονείται (πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο). Οι δονήσεις μεταφέρονται στο μικρό κώνο, ο οποίος τις μεταφέρει στην κόρνα.

Τα πιεζοηλεκτρικά μεγάφωνα κόρνας χρησιμοποιούνται σαν τούιτερ(μεγάφωνα που αποδίδουν κυρίως τις υψηλές συχνότητες) σε ηχεία υψηλής πιστότητας.

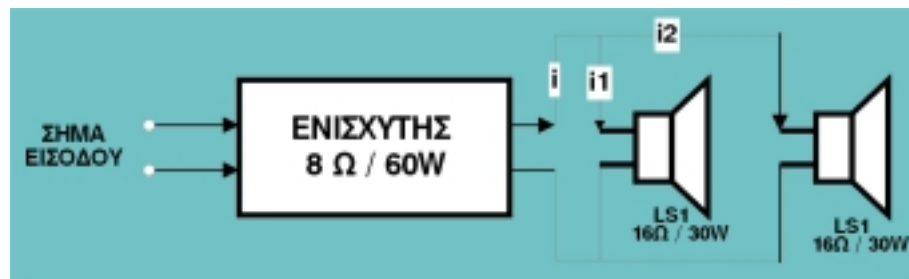
Επειδή το σύστημα των κρυστάλλων εμφανίζει στοιχεία χωρητικότητας, παρουσιάζει πολύ μεγάλη αντίσταση στις χαμηλές συχνότητες και αρκετά χαμηλή στις υψηλές συχνότητες. Έτσι μπορεί να συνδυαστεί σε ηχείο 2 δρόμων χωρίς την ανάγκη ύπαρξης Cross-Over.

1.6.3.1. Σύνδεση σειράς.

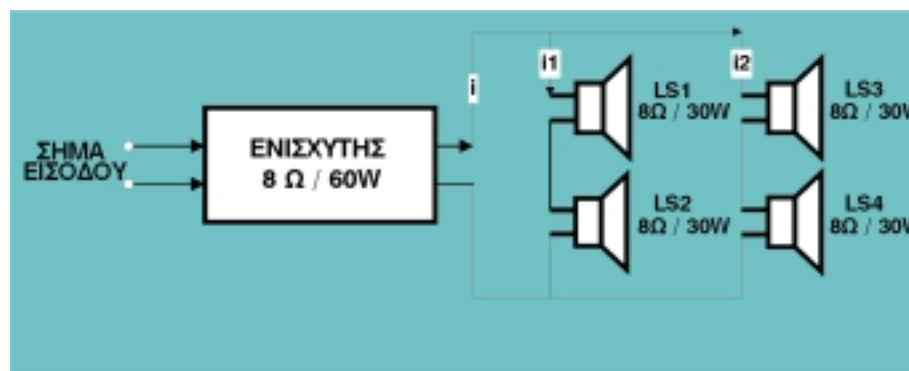


1.6.3 Συνδέσεις Μεγαφώνων

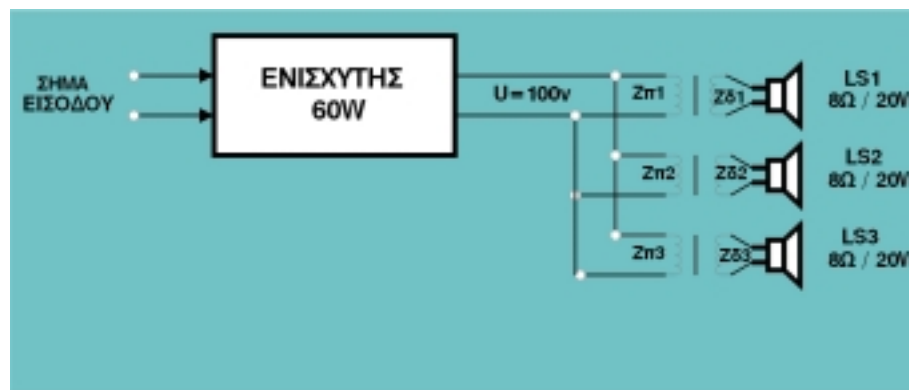
1.6.3.2. Παράλληλη σύνδεση.



1.6.3.3. Μικτή σύνδεση



1.6.3.4. Σύνδεση με Μ/Τ γραμμής (Line Transformer)



Υπολογισμός σύνθετης αντίστασης Μ/Τ γραμμής στο πρωτεύον.
Το δευτερεύον επιλέγεται ανάλογα με την αντίσταση του διατιθέμενου μεγαφώνου.

$$\begin{aligned} Z_{\pi 1} &= U^2/P = 10000/20W = 500\Omega & Z_{\Delta 1} &= 8\Omega \\ Z_{\pi 2} &= U^2/P = 10000/20W = 500\Omega & Z_{\Delta 2} &= 8\Omega \\ Z_{\pi 3} &= U^2/P = 10000/20W = 500\Omega & Z_{\Delta 3} &= 8\Omega \end{aligned}$$

Η συνολική ισχύς είναι : $LS_1 + LS_2 + LS_3 = 20W + 20W + 20W = 60W$
Μεγάλο πλεονέκτημα της σύνδεσης αυτής είναι η δυνατότητα χρήσης μεγαφώνων με διαφορετική σύνθετη αντίσταση.

Είναι ηλεκτρονικά κυκλώματα, τα οποία τοποθετούνται μέσα στα ηχεία και σκοπό έχουν να διαχωρίσουν το ακουστικό φάσμα σε ζώνες και να οδηγήσουν αυτές τις ζώνες σε αντίστοιχα μεγάφωνα.

Στην πράξη πρόκειται για διάφορα φίλτρα τύπου διέλευσης ζώνης (Band Pass), υπεραπαστά (High pass), βαθυπεραπαστά (Low pass) και διακοπής ζώνης (Band Stop), δηλαδή φίλτρα, που επιτρέπουν σε συγκεκριμένες περιοχές του ακουστικού φάσματος να διέρχονται ή να αποκλύπτονται.

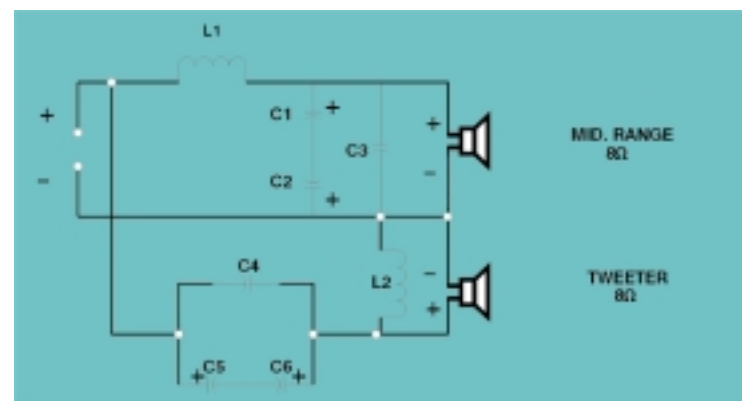
Κλασικές περιπτώσεις Cross Over είναι αυτές δύο δρόμων και τριών δρόμων.

1.6.4 ΚΡΟΣΣ-ΟΒΕΡ (CROSS OVER).

Διαθέτει μία είσοδο, η οποία συνδέεται στην έξοδο του ενισχυτή ισχύος ακουστικών συχνοτήτων και δύο εξόδους. Στη μία έξοδο αναπτύσσονται οι χαμηλές και μεσαίες συχνότητες (Χ.Σ., Μ.Σ.) και στην άλλη έξοδο αναπτύσσονται οι υψηλές συχνότητες (Υ.Σ.). Σαν Χ.Σ. νοούνται οι συχνότητες μέχρι 600Hz, σαν Μ.Σ. οι συχνότητες από 600Hz - 5000Hz και σαν Υ.Σ. οι συχνότητες από 5000Hz και άνω.

Έτσι στο κροσς-όβερ 2 δρόμων απαιτούνται δύο μεγάφωνα, ένα MID RANGE για Χ.Σ. και Μ.Σ. και ένα TWEETER για Υ.Σ.

1.6.4.1 Κροσς-όβερ δύο δρόμων (Two way cross-over).

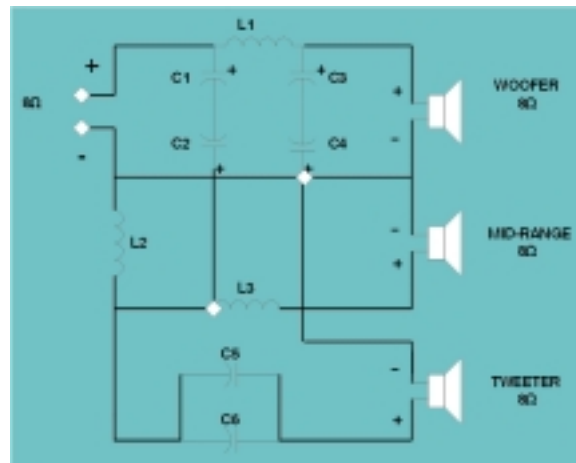


$L_1, L_2 = 1,5mH$
 $C_1, C_2, C_5, C_6 = 22\mu F/50V$
 $C_3, C_4 = 270nF$ πολυεστέρα

Σχήμα 1.6.4.1 Κροσς-όβερ δυο δρόμων

1.6.4.2 Κρος-όβερ τριών δρόμων (Three way cross-over).

Διαχωρίζει το φάσμα σε τρεις εξόδους. Η πρώτη αναφέρεται στις χαμηλές συχνότητες οπότε απαιτείται μεγάφωνο WOOFER, η δεύτερη στις μεσαίες συχνότητες και απαιτείται μεγάφωνο MID-RANGE και η τρίτη στις υψηλές συχνότητες και απαιτείται μεγάφωνο TWEETER.

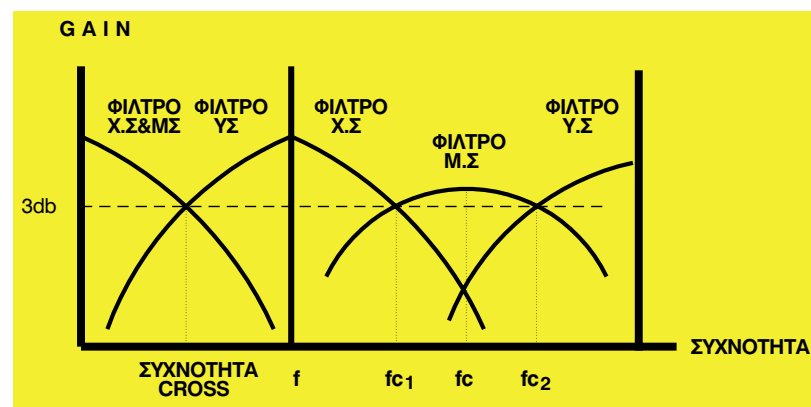


Σχήμα 1.6.4.2.1 Cross Over τριών δρόμων

$$\begin{aligned} L_1 &= 3\text{mH} & L_2 &= 1,2\text{mH} & L_3 &= 0,5\text{mH} \\ C_1 &= 33\mu\text{F} & C_2 &= 12\mu\text{F} & C_3 &= 8\mu\text{F} & C_4 &= 3,3\mu\text{F} \\ C_5 &= 3,3\mu\text{F} & C_6 &= 560\text{nF} \end{aligned}$$

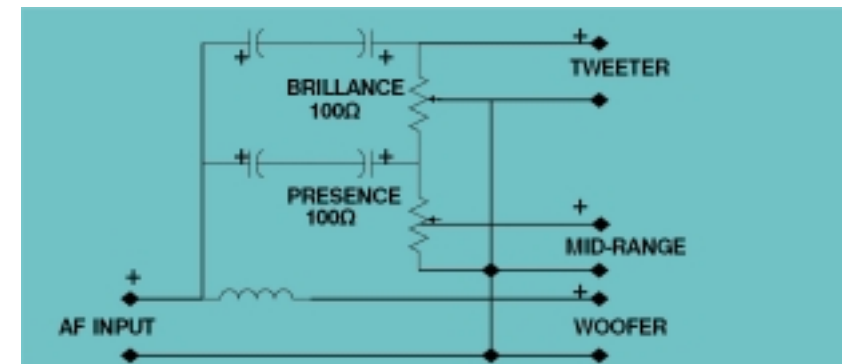
- Το φίλτρο διέλευσης Χ.Σ. είναι L_1C_3 - Woofer
- Το φίλτρο διέλευσης Μ.Σ. είναι $L_2C_2L_3$ - Mid Range
- Το φίλτρο διέλευσης Υ.Σ. είναι $C_1L_2C_5C_6$ - Tweeter

Τέλος οι καμπύλες απόκρισης των δύο παραπάνω Cross-over είναι:



Σχήμα 1.6.4.2.2 Καμπύλες απόκρισης Cross Over 2 & 3 δρόμων

Σε Cross Over ποιότητας τοποθετούνται ρυθμιστικά με τις ονομασίες BRILLIANCE, που σημαίνει έμφαση Υ.Σ. και PRESENCE, που σημαίνει έμφαση Μ.Σ.



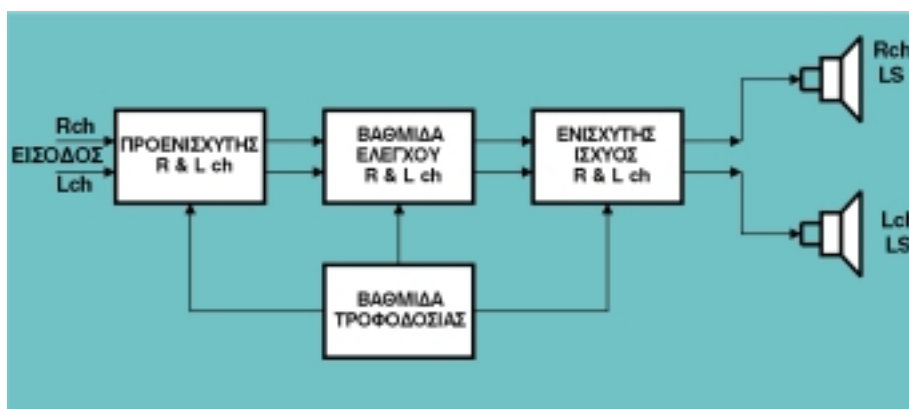
Σχήμα 1.6.4.2.3 Κύκλωμα ρύθμισης BRILLIANCE & PRESENCE

1.7. Ενισχυτικές διατάξεις ακουστικών σημάτων.



Σχήμα 1.7. Στερεοφωνικοί ενισχυτές Hi-Fi

Οι ενισχυτές μονοφωνικών ή στερεοφωνικών συγκροτημάτων αποτελούνται από μία αλυσίδα βαθμίδων, που η κάθε μία εξυπηρετεί και διαφορετικό σκοπό. Ένα απλό διάγραμμα δόμησης ενός στερεοφωνικού ενισχυτή φαίνεται στο σχ. 1.7.1.



Σχήμα 1.7.1 Δομικό διαγράμματος στερεοφωνικού ενισχυτή

Ο προενισχυτής σκοπό έχει την ενίσχυση από πλευράς τάσης του ακουστικού σήματος (μικρόφωνο, pick-up, κασετόφωνο κλπ.). Επί πλέον τα κυκλώματα εισόδου του προενισχυτή εξασφαλίζουν την προσαρμογή της αντίστασης της ηχητικής πηγής με την αντίσταση του προενισχυτή.

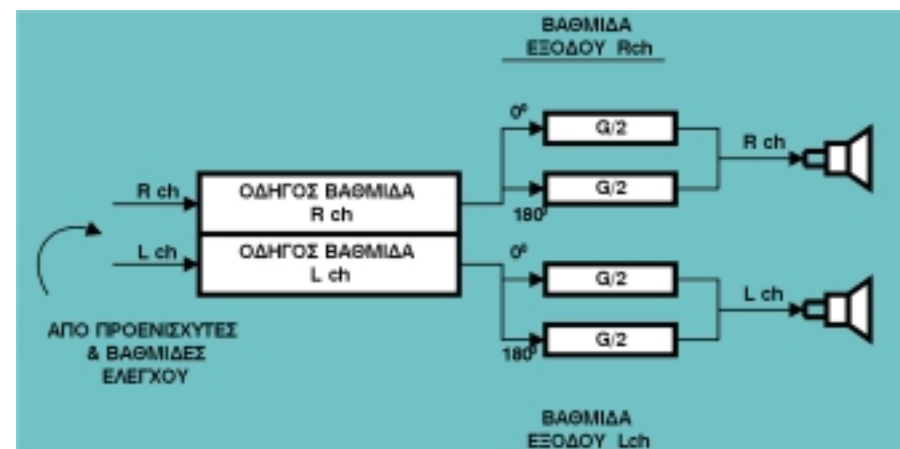
Η βαθμίδα ελέγχου διαθέτει εκείνες τις ηλεκτρονικές διατάξεις με τις οποίες γίνεται η ρύθμιση

- Της έντασης (volume control)
- Του τόνου (tone control)
- Της ισοστάθμισης (balance control).

Ο ενισχυτής ισχύος ή τελικός ενισχυτής όπως συνηθίζεται, προορίζεται για ενίσχυση ισχύος του σήματος, ώστε να φθάσει σε τέτοια στάθμη, που να μπορεί να οδηγήσει τα μεγάφωνα ή τα ηχεία.

Συνήθως οι ενισχυτές ισχύος ακουστικών σημάτων συγκροτούνται από δύο τμήματα βαθμίδων, από την οδηγό βαθμίδα (Driver stage) και από την βαθμίδα εξόδου (Output stage).

Οι βαθμίδες εξόδου ενός στερεοφωνικού ενισχυτή είναι συνήθως συμμετρικής διάταξης (Push-pull)



Σχήμα 1.7.2 Δομικό διάγραμμα τελικού στερεοφωνικού ενισχυτή

Ο τελικός ενισχυτής ισχύος με συμμετρική διάταξη τροφοδοτείται από τις οδηγούς βαθμίδες με σήματα, που διαφέρουν μεταξύ τους φασικά κατά 180° . Η τροφοδότηση των μεγαφώνων μπορεί να γίνει είτε με μετασχηματιστή προσαρμογής είτε άμεσα χωρίς μετασχηματιστή.

1.7.1.1 Κέρδος ή απολαβή (GAIN).

Είναι ο βαθμός ενίσχυσης του ενισχυτή και καθορίζεται από το λόγο της τάσης εξόδου U_o προς την τάση εισόδου U_i αν πρόκειται για τους προενισχυτές (ενισχυτές τάσης) ή από το λόγο της ισχύος εξόδου P_o προς την ισχύ εισόδου P_i για τους τελικούς ενισχυτές.

$$[\text{Βαθμός ενίσχυσης τάσης}] \mu_u = U_o/U_i \quad 1.7.1.1.1$$

$$[\text{Βαθμός ενίσχυσης ισχύος}] \mu_p = P_o/P_i \quad 1.7.1.1.2$$

1.7.1
**Χαρακτηριστι-
κά των
ενισχυτών
ακουστικών
σημάτων.**

Ο βαθμός ενίσχυσης είναι καθαρός αριθμός.
Το κέρδος ή απολαβή ενός ενισχυτή προσδιορίζεται σαν:

$$\text{GAIN}_u = 20 \log \mu$$
$$\text{GAIN}_u = 20 \log U_o/U_i$$

1.7.1.1.3

1.7.1.1.4

και εκφράζει σε **dB** το κέρδος τάσης του ενισχυτή, ενώ

$$\text{GAIN}_P = 10 \log \mu_P$$
$$\text{GAIN}_P = 10 \log P_o/P_i$$

1.7.1.1.5

1.7.1.1.6

και εκφράζει σε **dB** το κέρδος ισχύος του τελικού ενισχυτή.
Αν υπάρχουν περισσότεροι του ενός ενισχυτές συνδεδεμένοι σε σειρά , τότε η συνολική απολαβή θα ισούται με το άθροισμα καθενός από αυτούς ξεχωριστά.

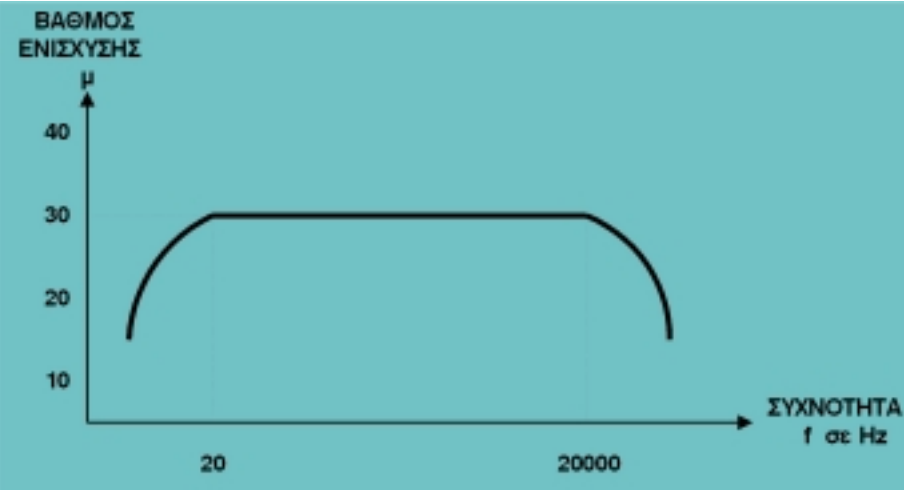
$$G_t = G_1 + G_2 + G_3 + \dots \text{ σε dB}$$

1.7.1.1.7

είτε αναφερόμαστε σε απολαβή τάσης είτε σε απολαβή ισχύος.

1.7.1.2 Απόκριση συχνοτήτων (Frequency Response).

Είναι ο τρόπος με τον οποίο ανταποκρίνεται ο ενισχυτής από πλευράς απολαβής σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων του ακουστικού σήματος.
Στην ιδανική περίπτωση ο ενισχυτής πρέπει να ανταποκρίνεται (να ενισχύει) με τον ίδιο βαθμό ενίσχυσης "μ" όλες τις συχνότητες του ακουστικού σήματος και επομένως η καμπύλη απόκρισης του ενισχυτή να είναι επίπεδη (flat).



Σχήμα 1.7.1.2. Καμπύλη απόκρισης ιδανικού ενισχυτή

1.7.1.3 Βαθμός απόδοσης "η".

Σαν βαθμός απόδοσης ενός ενισχυτή καθορίζεται ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος εξόδου P_{OR} προς τη συνεχή ισχύ P_{ODC} , που δίδει το τροφοδοτικό στον ενισχυτή επί 100%.

$$\eta = P_{OR}/P_{ODC} \cdot 100\%$$

1.7.1.3.1

1.7.1.4 Ωφέλιμη ισχύς εξόδου P_{OR}

Είναι η τελική ισχύς , που αναπτύσσεται στο φορτίο του ενισχυτή. Η ισχύς αυτή καθορίζεται από το λόγο του τετραγώνου της ενεργού τάσης εξόδου U^2_{oa} προς την αντίσταση φορτίου του ενισχυτή R .

$$P_{OR} = U^2_{oa}/R$$

1.7.1.4.1

Σ η μ ε ί ω σ η:

Ενεργός τιμή τάσης είναι η μέγιστη τιμή της τάσης U_{OR} δια $\sqrt{2}$

$$P_{OR} = \frac{U^2_{oa}}{R} = \frac{(U_{op}/\sqrt{2})^2}{R} = \frac{U^2_{op}}{2R}$$

1.7.1.4.2

1.7.1.5 Παραμορφώσεις (Distortions)

Είναι οι αλλοιώσεις , που προκαλεί ο ενισχυτής στα χαρακτηριστικά του σήματος. Μία από τις πλέον σημαντικές παραμορφώσεις, που εισάγει ο ενισχυτής είναι η αρμονική παραμόρφωση ή μη γραμμική παραμόρφωση (Harmonic or Non Linear Distortion).

Αυτή η παραμόρφωση προκαλείται από το γεγονός ότι τα εξαρτήματα , που συγκροτούν τον ενισχυτή δεν είναι γραμμικά αλλά έχουν καμπυλόγραμμο χαρακτηριστικά και επομένως το ρεύμα εξόδου δεν θα είναι γραμμικό αλλά θα περιέχει αρμονικές συνιστώσες.

Η αρμονική παραμόρφωση καθορίζεται από το συντελεστή γ , ο οποίος είναι ο λόγος της τετραγωνικής ρίζας του αθροίσματος των τετραγώνων των ενεργών ρευμάτων της 2ης, 3ης, 4ης κλπ αρμονικής προς την ενεργό τιμή της βασικής συχνότητας,

$$\gamma = \frac{\sqrt{I^2_{OR2} + I^2_{OR3} + I^2_{OR4} + \dots}}{I_{OR1}} \cdot 100\%$$

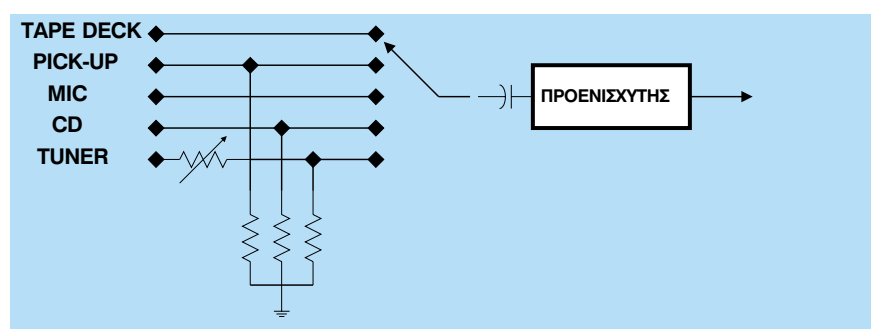
Οι απλοί ενισχυτές ακουστικών σημάτων δουλεύουν σε τάξη Α , η οποία δίνει λιγότερες αρμονικές παραμορφώσεις, αλλά έχει μικρό βαθμό απόδοσης περίπου 30%. Οι τάξεις AB και Β δίνουν υψηλότερους βαθμούς απόδοσης (50έως 60% η AB & 65 έως 75% η Β) , αλλά δημιουργούν μεγάλες αρμονικές παραμορφώσεις.

1.7.2 Προενισχυ- τής εισόδου



Σχήμα 1.7.2. Στερεοφωνικός προενισχυτής Hi-Fi

Είδαμε, στην παράγραφο 1.7 ότι ο προενισχυτής καλείται να ενισχύσει από πλευράς τάσης σήματα από διάφορες ακουστικές πηγές (μικρόφωνο, CD, Tape Deck, Tuner, Phono κλπ). Έτσι κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη ενός μεταγωγέα και κυκλωμάτων για την προσαρμογή των διαφόρων πηγών στην είσοδο του προενισχυτή.



Σχήμα 1.7.2.1 Διάγραμμα μεταγωγής των πηγών στην είσοδο του προενισχυτή

Οι διάφορες πηγές διακρίνονται από πλευράς στάθμης εξόδου σε:

- Πηγές χαμηλής στάθμης εξόδου και
- Πηγές υψηλής στάθμης εξόδου

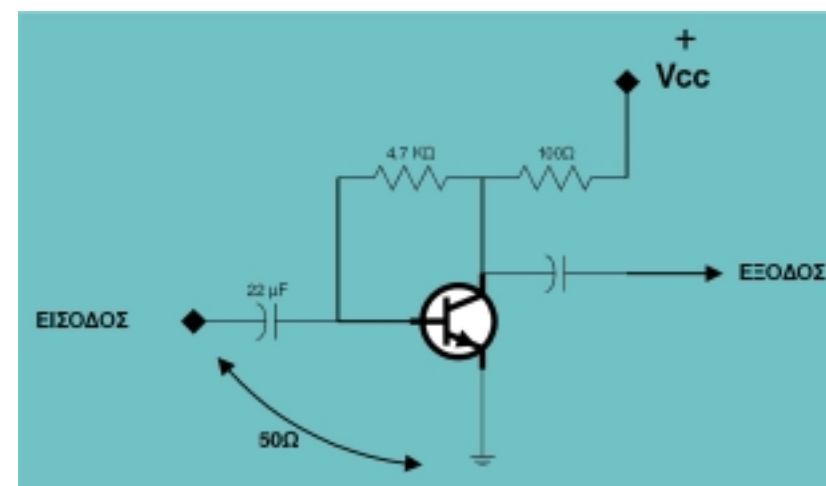
Επίσης από πλευράς εσωτερικής αντίστασης διακρίνονται σε:

- Πηγές χαμηλής αντίστασης και
- Πηγές υψηλής αντίστασης

Επομένως ο κοινός για όλες τις πηγές προενισχυτής πρέπει να προσαρμόζεται άριστα στις συνθήκες εξόδου των πηγών. Η προσαρμογή γίνεται με κύκλωμα , το οποίο θα προσαρμόζει την αντίσταση εξόδου της πηγής με την αντίσταση εισόδου του προενισχυτή.

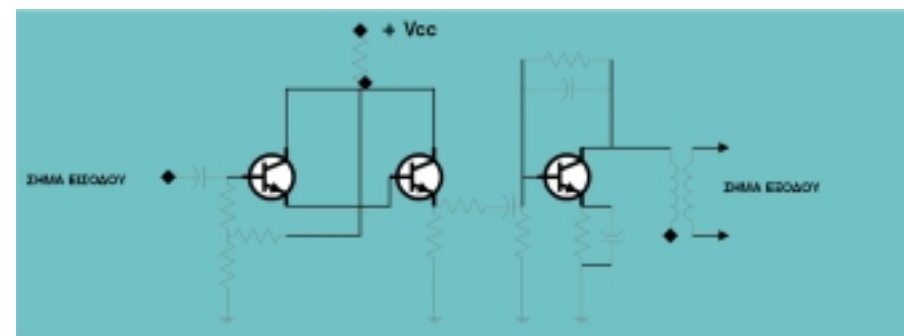
Για τη σύνδεση π.χ. ενός μικροφώνου χαμηλής αντίστασης (30-50Ωμ), χρησιμοποιείται μετασχηματιστής προσαρμογής ή συνδεσμολογία δύο ή περισσότερων τρανζίστορ.

Υπάρχουν όμως τρανζίστορ ή ολοκληρωμένα κύκλωμα όπως το TCA 980 , τα οποία έχουν χαμηλή αντίσταση εισόδου και επομένως ένα μικρόφωνο με χαμηλή αντίσταση εισόδου μπορεί να συνδεθεί άμεσα.



Σχήμα 1.7.2.2 Διάγραμμα άμεσης σύνδεσης μικροφώνου σε προενισχυτή χαμηλής αντίστασης εισόδου με τρανζίστορ .

Ένα άλλο διάγραμμα σύνδεσης πηγής σε προενισχυτή υψηλής αντίστασης εισόδου με τρανζίστορ φαίνεται στο σχήμα 1.7.2.3

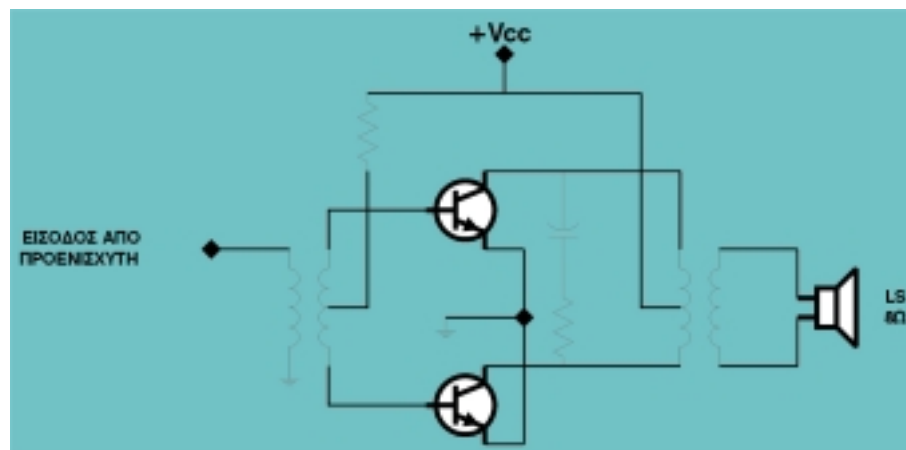


Σχήμα 1.7.2.3 Διάγραμμα σύνδεσης πηγής σε προενισχυτή υψηλής αντίστασης εισόδου με τρανζίστορ.

1.7.3 Ενισχυτής εξόδου (ισχύος)

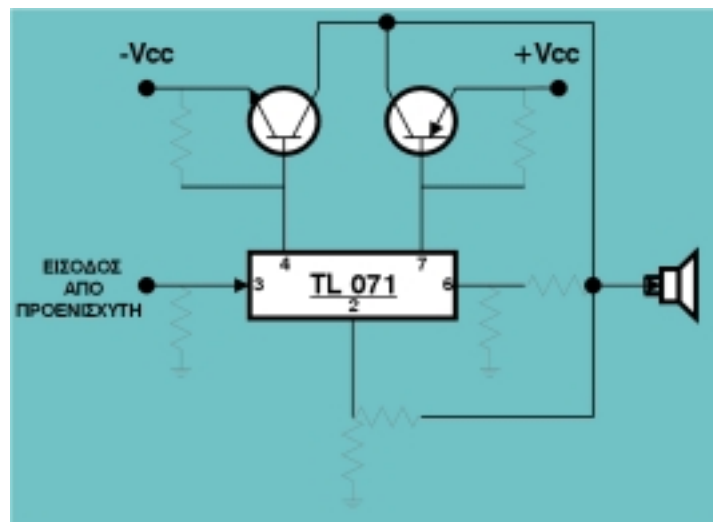
Οι σύγχρονοι ενισχυτές εξόδου κατασκευάζονται με ολοκληρωμένα κυκλώματα, αν και σε μερικές εφαρμογές γίνεται χρήση και τρανζίστορς. Κατά βάση οι ενισχυτές ισχύος λειτουργούν σε συμμετρική συνδεσμολογία. Σε παλαιότερες κατασκευές ενισχυτών υπήρχε μετασχηματιστής στην είσοδο του ενισχυτή (για τη δημιουργία δύο σημάτων με αντίθετη φάση) και μετασχηματιστής στην έξοδο του ενισχυτή (για την προσαρμογή με το μεγάφωνο ή το ηχείο).

Ένας τέτοιος ενισχυτής φαίνεται στο σχ. 1.7.3.1



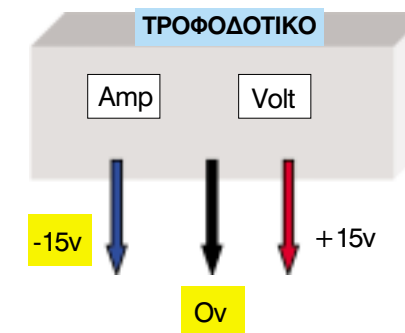
Σχήμα 1.7.3.1 Ενισχυτής εξόδου (ισχύος) με δύο τρανζίστορς σε συμμετρική διάταξη και δύο μετασχηματιστές (εισόδου-εξόδου).

Στο σχήμα 1.7.3.2 φαίνεται η συγκρότηση ενός ενισχυτή εξόδου με συνδυασμό ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος (TL071) και δύο συμπληρωματικών τρανζίστορς.



Σχήμα 1.7.3.2 Διάγραμμα ενισχυτή εξόδου με το ολοκληρωμένο κύκλωμα TL071 και δύο τρανζίστορς συμπληρωματικά.

Η είσοδος του ακουστικού σήματος είναι στο ποδαράκι 3 του ολοκληρωμένου κυκλώματος. Η τροφοδότηση των δύο τρανζίστορς είναι ετεροπολική +v & -v (είναι συνεχείς τάσεις, που παρέχονται από δυο εξόδους του τροφοδοτικού με αντίθετη πολικότητα ως προς τη γείωση 0volt) π.χ



Σχήμα 1.7.3.3 Τροφοδοτική διάταξη παροχής τάσεων $\pm 15V$.

1.8.1 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1

1. Προσδιορίστε τις έννοιες του διαμήκους και του εγκάρσιου κύματος
.....
.....
2. Η ένταση του ήχου ανήκει στα:
α)φυσικά χαρακτηριστικά του ήχου
β)υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου
(υπογραμμίστε τη σωστή απάντηση)
3. Ηχώ παράγεται , όταν ο ήχος ανακλάται σε κάποιο εμπόδιο το οποίο απέχει από την ηχητική πηγή: α)πάνω από 17 m , β)πάνω από 7m , γ)κάτω από 7m(υπογραμμίστε τη σωστή απάντηση)
4. Στάσιμα κύματα ήχων προκαλούνται από συμβολή δύο ήχων διαφορετικών συχνοτήτων. Σωστό ή λάθος;
5. Προσδιορίστε την έννοια της ευαισθησίας ή απόδοσης ενός μικροφώνου.
6. Αναφέρατε τα πλεονεκτήματα των δυναμικών μικροφώνων.
7. Ποια είναι η βασική διαφορά των μικροφώνων πίεσης από τα μικρόφωνα ταχύτητας;
8. Η μείωση του θορύβου στο σύστημα DOLBY C για την περιοχή 1KHz έως 10KHz; είναι: α)10 dB , β)15 dB , γ)20dB (υπογραμμίστε τη σωστή απάντηση)
9. Τα ηχητικά κύματα που εμφανίζονται στο πίσω μέρος του μεγαφώνου έχουν διαφορά φάσης με αυτά στο εμπρός μέρος; α)900 , β)450 , γ)1800 , δ)2700 (υπογραμμίστε τη σωστή απάντηση)
10. Τα ηλεκτροδυναμικά μεγάφωνα κατασκευάζονται από:
α)μόνιμο μαγνήτη
β)πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο
γ)ηλεκτρομαγνήτη
(υπογραμμίστε τη σωστή απάντηση)
11. Διαθέτετε ένα μονοφωνικό ενισχυτή 8 Ωμ / 40 Watt και δυο μεγάφωνα 16 Ω / 20 Watt. Σχεδιάστε τον ασφαλή τρόπο με τον οποίο θα πραγματοποιήσετε τη σύνδεση ενισχυτή και μεγαφώνων.
12. Υπολογίστε το κέρδος ενός ενισχυτή , όταν η στάθμη εισόδου του είναι $U_i = 10\text{mV}$ και η στάθμη εξόδου του είναι $U_0 = 1\text{ Volt}$.
13. Ο απλός ήχος ή τόνος είναι ένα ηχητικό κύμα πολλών συχνοτήτων; Σωστό ή λάθος
14. Το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων εκτείνεται:
από 20 έως 2000HZ
από 20 έως 20000HZ
από 20 έως 20000KHZ
(υπογραμμίστε τη σωστή απάντηση)
15. Η απόδοση των μεγαφώνων χοάνης είναι :
8% , 28% , 48% , 68%
(υπογραμμίστε τη σωστή απάντηση)

16. Ο βαθμός ενίσχυσης ενός ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων είναι $\mu=40$ και το σήμα εισόδου είναι $V_{in}=0,5\text{ volt}$. Να υπολογίσετε το σήμα εξόδου V_{out} .
17. Ποιες είναι οι γενικές λειτουργίες της τράπεζας μίξης ήχων;
18. Ο ποιοτικός έλεγχος των ηχητικών σημάτων στη τράπεζα μίξης ήχων πραγματοποιείται με : εξισωτές , φίλτρα αποκοπής ζώνης συχνοτήτων και ρυθμιστές αντήχησης. Σωστό ή λάθος
19. Ένας ενισχυτής με κέρδος $G_1=10\text{ dB}$ συνδέεται σε σειρά με έναν άλλο ενισχυτή του οποίου το κέρδος είναι $G_2=5\text{ dB}$. Το συνολικό κέρδος της διάταξης των ενισχυτών θα είναι:
10dB X 5dB
10dB + 5dB
10dB : 5dB (υπογραμμίστε τη σωστή απάντηση)
20. Στους σύγχρονους τελικούς ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων με τη χρήση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων IC ,είναι απαραίτητη η ύπαρξη μετασχηματιστή προσαρμογής της εξόδου του ενισχυτή με το μεγάφωνο; Σωστό ή λάθος

20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Μαγνητική εγγραφή και αναπαραγωγή ήχου

Σκοπός

Σκοπός του Δεύτερου Κεφαλαίου είναι οι μαθητές να μπορούν :

- Να περιγράφουν τα βασικά στοιχεία της μαγνητικής εγγραφής και τις διάφορες τεχνικές
- Να περιγράφουν τα βασικά στοιχεία της μαγνητικής αναπαραγωγής και τις διάφορες τεχνικές
- Να περιγράφουν τα βασικά στοιχεία της μαγνητικής διαγραφής και τις διάφορες τεχνικές
- Να γνωρίζουν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των διαφόρων κεφαλών
- Να έχουν την ευχέρεια της μελέτης και σχεδίασης απλών δομικών διαγραμμάτων ροής σήματος προς εγγραφή και αναπαραγωγή
- Να διακρίνουν τα διάφορα είδη κασετών
- Να αναγνωρίζουν τα πλέον βασικά μηχανικά μέρη του μηχανισμού κίνησης της ταινίας σε ένα κασετόφωνο ή μαγνητόφωνο
- Να αναγνωρίζουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συσκευών εγγραφής και αναπαραγωγής ήχου

Εισαγωγή

Στι Κεφ. 2 , οι μαθητές μαθαίνουν τις βασικές αρχές μαγνητικής εγγραφής και αναπαραγωγής σημάτων ήχου σε μαγνητική ταινία. Μελετούν τους τύπους των κεφαλών εγγραφής , αναπαραγωγής και διαγραφής. Μαθαίνουν πως είναι το δομικό διάγραμμα ενός μαγνητοφώνου και ποιοι είναι οι διάφοροι τύποι και η χρήση των μαγνητικών κασετών.



Σχήμα 2.1.1. Διπλό στερεοφωνικό κασετόφωνο

2.1.1. Βασικά στοιχεία μαγνητικής εγγραφής.

Η αρχή εγγραφής παλμορευμάτων σε μία μαγνητική ταινία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός ηλεκτρομαγνήτη (κεφαλή εγγραφής , όπως θα δούμε αργότερα). Όταν ο ηλεκτρομαγνήτης διαρρέεται από παλμόρευμα (ρεύμα εγγραφής) αναπτύσσει ένα μαγνητικό πεδίο ανάλογο προς το παλμόρευμα. Αν μπροστά από τον ηλεκτρομαγνήτη περάσει μία πλαστική ταινία επικαλυμμένη με ρινίσματα σιδήρου , τα ρινίσματα του σιδήρου προσανατολίζονται (πολώνονται) σύμφωνα με το υπάρχον μαγνητικό πεδίο. Η φορά διέλευσης του παλμορεύματος I καθορίζει τη φορά του μαγνητικού πεδίου H . Επίσης η ένταση του παλμορεύματος I καθορίζει την ένταση του μαγνητικού πεδίου H .

$$H = Q \cdot I \text{ όπου } Q = \frac{n}{l} \quad \text{2.1.1.1}$$

n = αριθμός σπειρών πηνίου
 l = μήκος πηνίου

Μεταβάλλοντας την ένταση μεταβάλλεται το μαγνητικό πεδίο. Η πόλωση των ρινισμάτων της ταινίας πραγματοποιείται κάτω από την επίδραση των μαγνητικών γραμμών του πεδίου H , άρα το μαγνητικό πεδίο που θα αναπτυχθεί στα ρινίσματα του σιδήρου, θα είναι επαγωγικό. Το φαινόμενο αυτό λέγεται μαγνήτιση εξ επαγωγής ή μαγνητική επαγωγή (B) και δίδεται από τη σχέση:

$$B = \mu \cdot H \quad \text{2.1.1.2}$$

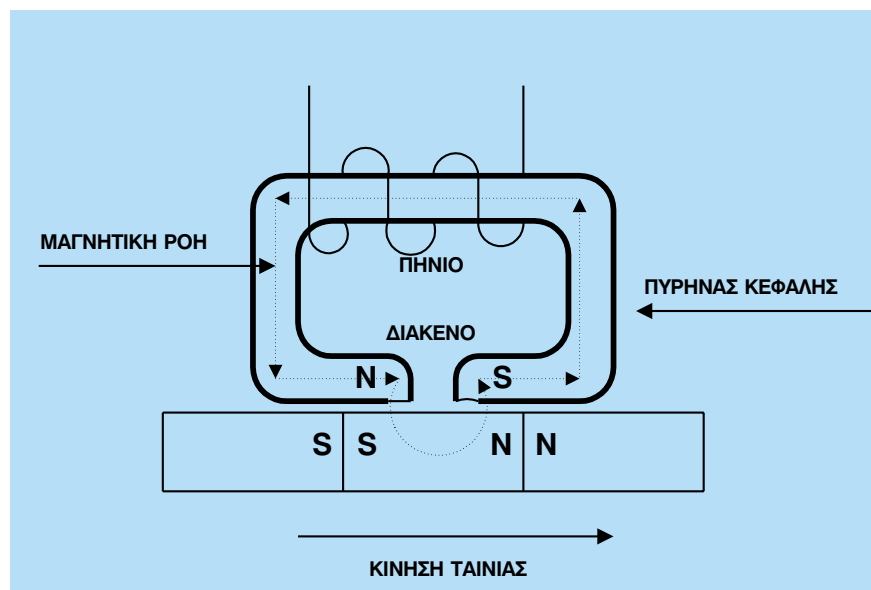
Το μ εκφράζει την απόλυτη μαγνητική διαπερατότητα του υλικού και εξαρτάται από το ίδιο το υλικό.

Οι μονάδες μέτρησης της μαγνητικής επαγωγής B είναι:

Για το ΗΜΣ	1 GAUSS
Για το ΜΚΣ	1 Wb/m² ή
	1 TESLA (= 10⁴GAUSS)

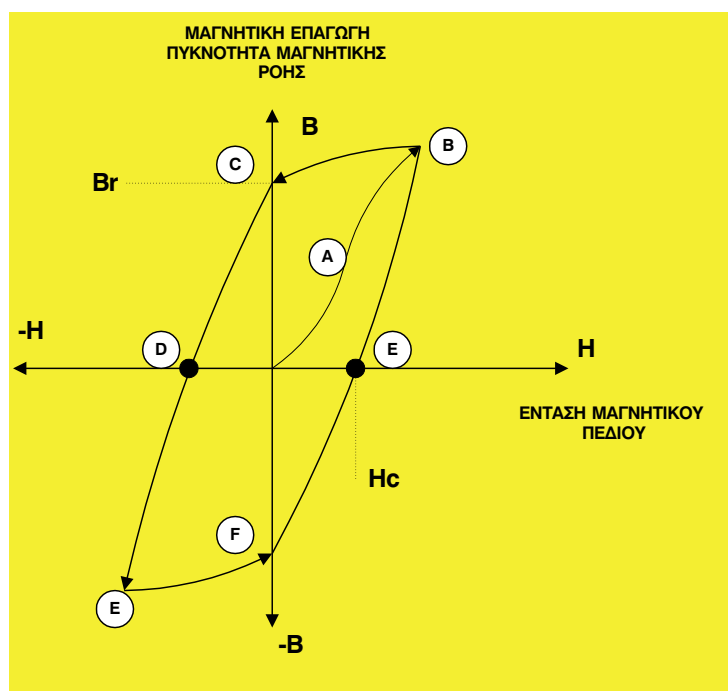
Όπως όλα τα μαγνητικά υλικά έτσι και η ταινία παρουσιάζει μαγνητική υστέρηση. Σαν μαγνητική υστέρηση προσδιορίζεται το φαινόμενο εκείνο , όπου η μεταβολή της μαγνητικής επαγωγής B υστερεί της μεταβολής της έντασης του μαγνητικού πεδίου H .

Η υστέρηση συμβολίζεται σε ένα διάγραμμα αξόνων B, H με μία κλειστή καμπύλη, που ονομάζεται βρόχος υστέρησης. Μέσω της καμπύλης αυτής χαρακτηρίζονται οι μαγνητικές ιδιότητες των διαφόρων υλικών.



Σχήμα 2.1.1.1 Διαδικασία πόλωσης ρινασμάτων ταινίας με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνήτη.

Στο σχήμα 2.1.1.2 φαίνεται η καμπύλη υστέρησης ταινίας με μαγνητικό υλικό από φερρίτη.



Σχήμα 2.1.1.2 Καμπύλη υστέρησης

Από τη καμπύλη του βρόχου παρατηρούμε ότι μετά την πρώτη μαγνήτιση του υλικού παραμένει μία μαγνήτιση B_r που αντιστοιχεί σε μηδενική ένταση μαγνητικού πεδίου H . Η τιμή B_r ονομάζεται "παραμένουσα μαγνήτιση" ή

"παραμένουσα πυκνότητα μαγνητικής ροής".

Για να εξουδετερωθεί η μαγνήτιση του υλικού πρέπει να εφαρμοσθεί μία αντίθετη μαγνητική δύναμη, η οποία προκαλείται από την ένταση πεδίου H_c και η οποία ονομάζεται "συνεκτική δύναμη" ή "δύναμη εξουδετέρωσης".

Η επιφάνεια της καμπύλης υστέρησης εκφράζει ωφέλιμη ενέργεια, που βελτιώνει το λόγο S/N (σήμα προς θόρυβο) και την ένταση της αποθηκευμένης πληροφορίας.

Η ποιότητα της μαγνητικής εγγραφής χαρακτηρίζεται από τη γραμμικότητα της μεταβολής της μαγνητικής διατήρησης σε συνάρτηση με τη μαγνητίζουσα δύναμη H (ένταση πεδίου).

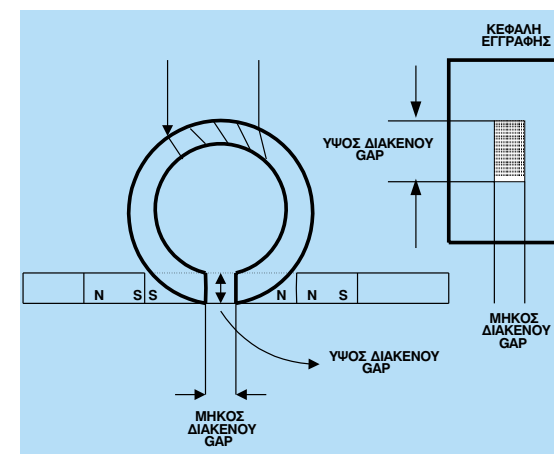
Στα μαγνητόφωνα (και κασετόφωνα) οι μαγνητικές κεφαλές ταξινομούνται σε τρεις ομάδες:

- Μαγνητικές κεφαλές εγγραφής ήχων (Record Audio Heads)
- Μαγνητικές κεφαλές αναπαραγωγής ήχων (Play Back Audio Heads).
- Μαγνητικές κεφαλές διαγραφής ήχων (Audio Erase Heads).

2.1.2 Μαγνητικές κεφαλές.

Οι μαγνητικές κεφαλές εγγραφής και αναπαραγωγής είναι ίδιες και σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται μια κοινή κεφαλή για εγγραφή και αναπαραγωγή. Οι μαγνητικές κεφαλές διαγραφής είναι μεγαλύτερες από τις κεφαλές εγγραφής και αναπαραγωγής για να δημιουργούν ισχυρό πεδίο, το οποίο πρέπει να οδηγεί την ταινία σε κορεσμό.

Το πλέον κρίσιμο χαρακτηριστικό των κεφαλών είναι το διάκενο του ηλεκτρομαγνήτη μπροστά από το οποίο περνά η ταινία. Το διάκενο (GAP) έρχεται σε επαφή κάθετα με την κινούμενη ταινία και περιέχει υλικά υψηλής μαγνητικής αντίστασης, ώστε η μαγνητική ροή να είναι έντονη. Το υλικό, που χρησιμοποιείται, είναι λεπτό φύλλο μετάλλου ή λεπτό στρώμα μονοξειδίου του πυριτίου.



Σχήμα 2.1.2. Παράσταση κεφαλής εγγραφής

Το μήκος του διάκενου έχει σχέση με την απόκριση της κεφαλής στις υψηλές συχνότητες (μέχρι πόσο υψηλά μπορεί να γράψει). Το ύψος του διάκενου έχει σχέση με την ευαισθησία της κεφαλής δεδομένου ότι όταν το ύψος είναι μικρό, η μαγνητική αντίσταση θα είναι μεγάλη.

Για τη διαδικασία της εγγραφής το ύψος του διάκενου δεν παίζει μεγάλο ρόλο, διότι η εγγραφή γίνεται ακριβώς στα κάτω όρια αυτού.

Το υλικό του σιδηροπυρήνα δεν είναι συμπαγές αλλά συντίθεται από λεπτά ελάσματα μονωμένα μεταξύ τους για ελάττωση των απωλειών από τα δινορρεύματα FOUCAULT.

Οι κεφαλές καλής ποιότητας κατασκευάζονται από υλικό μεγάλης μαγνητικής διαπερατότητας όπως PERMALLOY.

Χαρακτηριστικά μήκη διάκενου για τις κεφαλές εγγραφής είναι 0,025mm, αναπαραγωγής 0,009mm και διαγραφής 0,5mm.

Το μήκος του διάκενου συμβολίζεται ως d και υπάρχει μία βασική σχέση μεταξύ του d και του μήκους κύματος λ της προς εγγραφή πληροφορίας.

$$d < \lambda \min \quad 2.1.2.1$$

$$U \text{ και } \lambda = \frac{U}{f} \quad 2.1.2.2$$

όπου U είναι η ταχύτητα της ταινίας

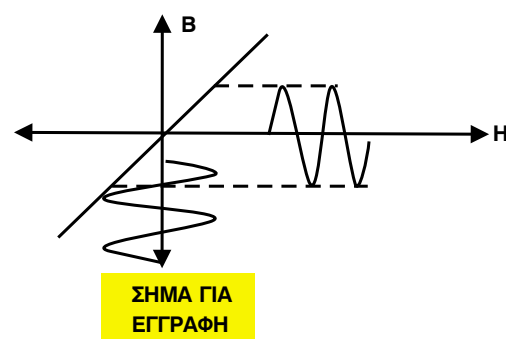
f είναι η συχνότητα του προς εγγραφή σήματος.

Κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγής:

- Αν $d = \lambda$ ή $d = 2\lambda$ ή $d = 3\lambda$ κλπ τότε δεν αναπτύσσεται τάση εξόδου ($E = 0$)
- Αν $d = \frac{1}{2}\lambda$ ή $d = \frac{3}{2}\lambda$ κλπ τότε αναπτύσσεται τάση εξόδου ($E = E_{\max}$).

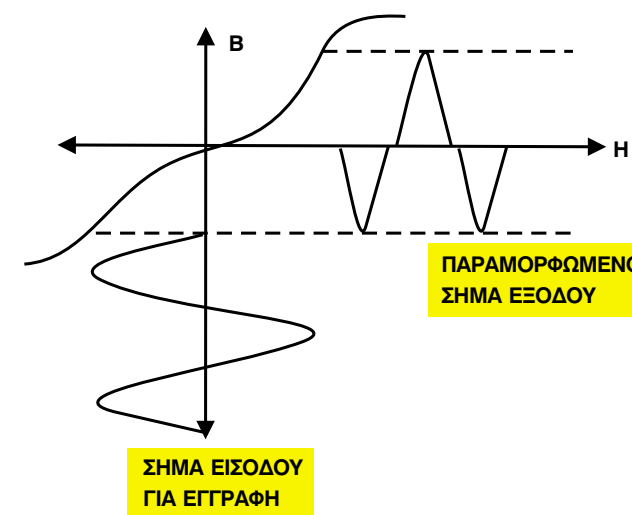
2.1.3 Πόλωση εγγραφής.

Αν η χαρακτηριστική μαγνήτισης της ταινίας είναι γραμμική όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1.3.1, το σήμα εγγράφεται ανάλογα με το παλμόρρευμα.



Σχήμα 2.1.3.1 Γραμμική εγγραφή του σήματος

Επειδή όμως στην πράξη η χαρακτηριστική μαγνήτισης προερχόμενη από το βρόγχο υστέρησης δεν είναι γραμμική, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1.3.2 προκαλεί σοβαρή παραμόρφωση στο σήμα εγγραφής.

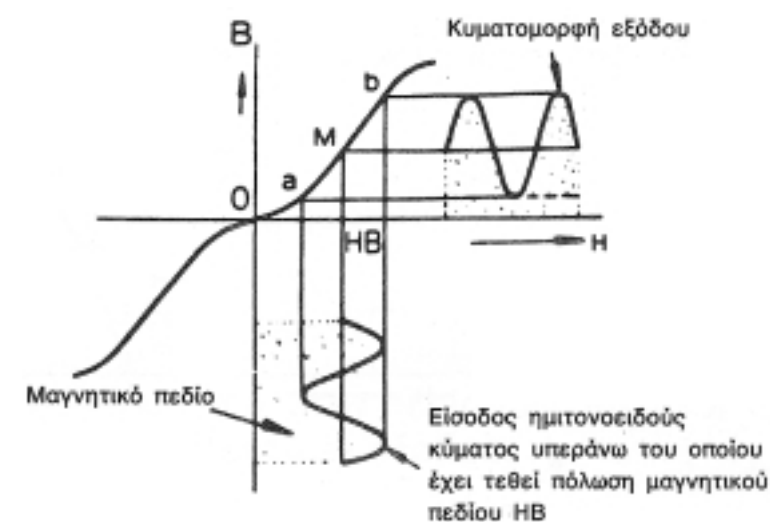


Σχήμα 2.1.3.2 Χαρακτηριστική μαγνήτισης και παραμόρφωση του σήματος.

Για να λυθεί το πρόβλημα της παραμόρφωσης του προς εγγραφή παλμορεύματος χρησιμοποιούνται οι δύο παρακάτω μέθοδοι:

• Πόλωση συνεχούς ρεύματος (D.C. BIAS)

Σε αυτή την περίπτωση, πριν περάσει η ταινία από την κεφαλή εγγραφής, προστίθεται στο προς εγγραφή παλμόρρευμα συνεχές ρεύμα, οπότε παράγεται μαγνητικό πεδίο H_B (βλέπε σχήμα 2.1.3.3), το οποίο μεταθέτει το παλμόρρευμα εγγραφής στα γραμμικότερα μέρη της καμπύλης μαγνήτισης, ελαττώνοντας σημαντικά την παραμόρφωση.

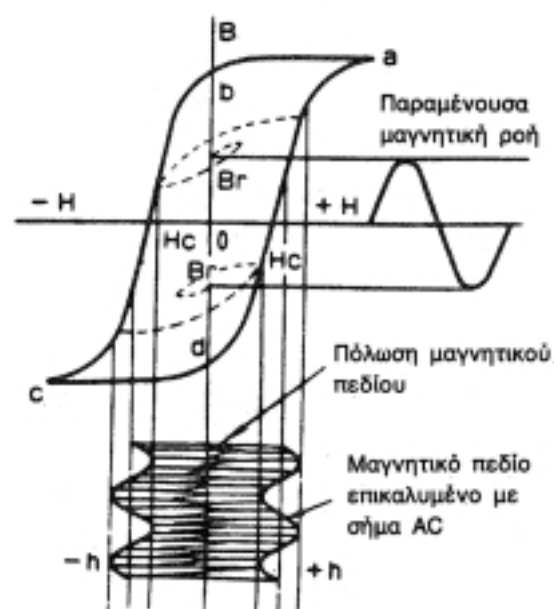


Σχήμα 2.1.3.3 Εγγραφή με πόλωση D.C.

Συγκρίνοντας τα σχήματα 2.1.3.2 (χωρίς πόλωση) και 2.1.3.3 (με πόλωση D.C.) βλέπουμε τις διαφορές στην παραμόρφωση.

- **Πόλωση εναλλασσόμενου ρεύματος (A.C. BIAS).**

Στην περίπτωση αυτή προστίθενται στην κεφαλή εγγραφής το παλμόρευμα εγγραφής και ένα εναλλασσόμενο σήμα περίπου 100KHz δίδοντας αποτελέσματα, όπως θα ήταν με εγγραφή σε γραμμική χαρακτηριστική μαγνήτισης. Λόγω της υψηλής συχνότητας του ρεύματος πόλωσης, αυτό δεν εγγράφεται στην ταινία σαν πληροφορία αλλά βοηθά στο να χρησιμοποιούνται τα γραμμικά τμήματα της καμπύλης μαγνήτισης, που έχουν την ίδια κλίση.



Σχήμα 2.1.3.4 Εγγραφή με πόλωση A.C.

Η πόλωση A.C. πλεονεκτεί έναντι της D.C. διότι έχει

- Ευρύτερη δυναμική περιοχή
- Λιγότερο θόρυβο
- Μικρότερη παραμόρφωση

2.1.4 Βασική αρχή διαγραφής της ταινίας.

Ένα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της εγγραφής και της αναπαραγωγής είναι η δυνατότητα να χρησιμοποιείται η ταινία πολλές φορές διαγράφοντας και ξαναγράφοντας σήματα σ' αυτήν. Τα σήματα, που έχουν γραφτεί στη ταινία μπορούν να αναπαραχθούν σύμφωνα με τις μεταβολές της παραμένουσας μαγνητικής ροής.

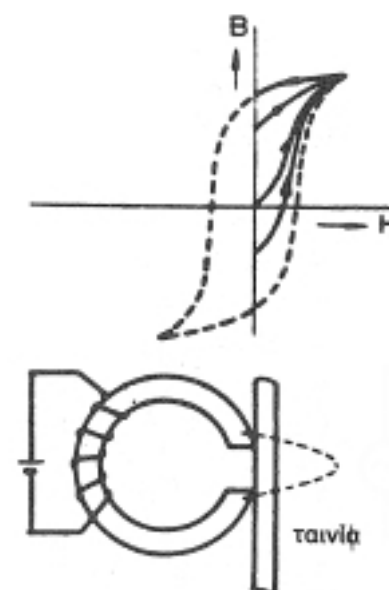
Με άλλα λόγια θα ήταν αδύνατη η αναπαραγωγή τους, αν είχαν εξαλειφθεί

αυτού του είδους οι μεταβολές.

Για τη διαγραφή υπάρχουν δύο μέθοδοι αντίστοιχες της εγγραφής:

- **Διαγραφή συνεχούς ρεύματος (D.C.)**

Η αρχή επί της οποίας βασίζεται η λειτουργία της διαγραφής D.C. φαίνεται στο σχήμα 2.1.4.1. Είναι μία απλή και αποτελεσματική μέθοδος, αναπτύσσει όμως μεγάλο θόρυβο διαγραφής. Σε αυτήν την περίπτωση, η παραμένουσα μαγνητική ροή μειώνεται ομοιόμορφα κατά την ίδια διεύθυνση αναπτύσσοντας ένα D.C. ρεύμα.



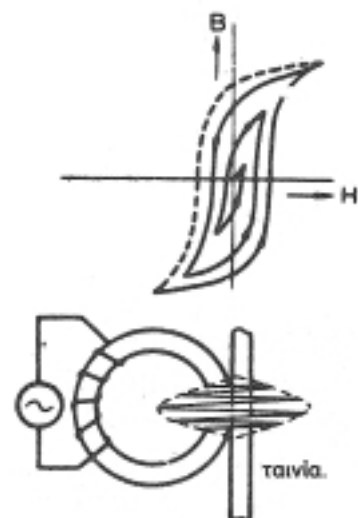
Σχήμα 2.1.4.1 Διαγραφή συνεχούς ρεύματος D.C.

- **Διαγραφή εναλλασσόμενου ρεύματος (A.C.)**

Στη διαγραφή AC εφαρμόζεται μία εναλλασσόμενη συχνότητα περίπου 100KHz στην κεφαλή διαγραφής, η οποία αναπτύσσει ένα μαγνητικό πεδίο μεγαλύτερο από αυτό που αντιστοιχεί στον κορεσμό του μαγνητικού υλικού της ταινίας.

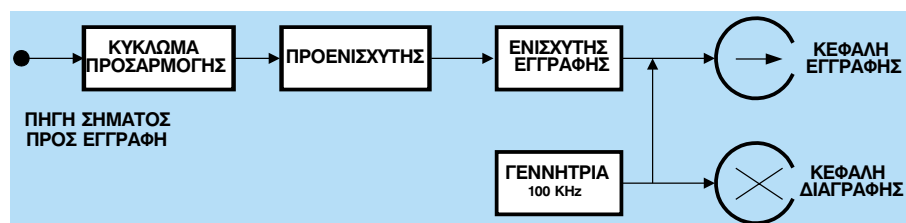
Καθώς η ταινία απομακρύνεται από το διάκενο της κεφαλής, το μαγνητικό πεδίο AC ελαττώνεται, και οι βρόγχοι υστέρησης μικραίνουν έως ότου μηδενισθεί ο μόνιμος μαγνητισμός της ταινίας.

Εδώ ο θόρυβος διαγραφής είναι πολύ μικρός και γι' αυτό προτιμάται από τη διαγραφή D.C.



Σχήμα 2.1.4.2 Διαγραφή εναλλασσόμενου ρεύματος A.C.

2.1.5 Διάγραμμα εγγραφής.



Σχήμα 2.1.5. Απλοποιημένο διάγραμμα εγγραφής

Στο σχήμα 2.1.5. φαίνεται το απλοποιημένο διάγραμμα μαγνητικής εγγραφής σήματος. Το προς εγγραφή σήμα οδηγείται σε κύκλωμα προσαρμογής της αντίστασης εξόδου της πηγής με την αντίσταση εισόδου του προενισχυτή. Ακολούθως προενισχύεται κατά τάση και έρχεται στον ενισχυτή εγγραφής, όπου ενισχύεται από πλευράς ρεύματος. Στο σήμα εξόδου του ενισχυτή εγγραφής αναπτύσσεται και το ρεύμα υψηλής συχνότητας πόλωσης AC από τη γεννήτρια. Ο συνδυασμός του παλμορεύματος εγγραφής και της πόλωσης AC τροφοδοτεί την κεφαλή εγγραφής. Ταυτόχρονα η γεννήτρια 100KHz οδηγεί την πόλωση AC στην κεφαλή διαγραφής, η οποία διαγράφει την παλαιότερη εγγραφή. Έτσι κατά την εγγραφή, πρώτα πραγματοποιείται η διαγραφή παλαιότερης εγγραφής και ακολούθως εγγράφεται το νέο σήμα. Άρα στη δομή ενός μαγνητοφώνου αναμένουμε, η ταινία να περάσει πρώτα από την κεφαλή διαγραφής και στη συνέχεια από την κεφαλή εγγραφής.

2.2.1 Βασικά στοιχεία μαγνητικής αναπαραγωγής.

Όπως η αρχή της εγγραφής παλμορευμάτων σε μαγνητική ταινία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός ηλεκτρομαγνήτη (κεφαλή εγγραφής) έτσι και η αρχή της αναπαραγωγής γίνεται πάλι με ένα ηλεκτρομαγνήτη (κεφαλή αναπαραγωγής).

Ενώ στην περίπτωση της εγγραφής η κεφαλή διαρρέεται από το προς εγγραφή παλμόρρευμα και αναπτύσσει ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο πολώνει τα ρινίσματα του υλικού της ταινίας που παραμένουν μαγνητισμένα, στην περίπτωση της αναπαραγωγής ισχύει το αντίθετο. Δηλαδή μία μαγνητισμένη ταινία γραμμένη περνάει μπροστά από το διάκενο του ηλεκτρομαγνήτη, προσδίδοντας την απαιτούμενη μαγνητική ροή, η οποία θα προκαλέσει μία τάση εξ επαγωγής E στα άκρα του πηνίου του ηλεκτρομαγνήτη. Η τάση αυτή E θα είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής της μαγνητικής ροής Φ .

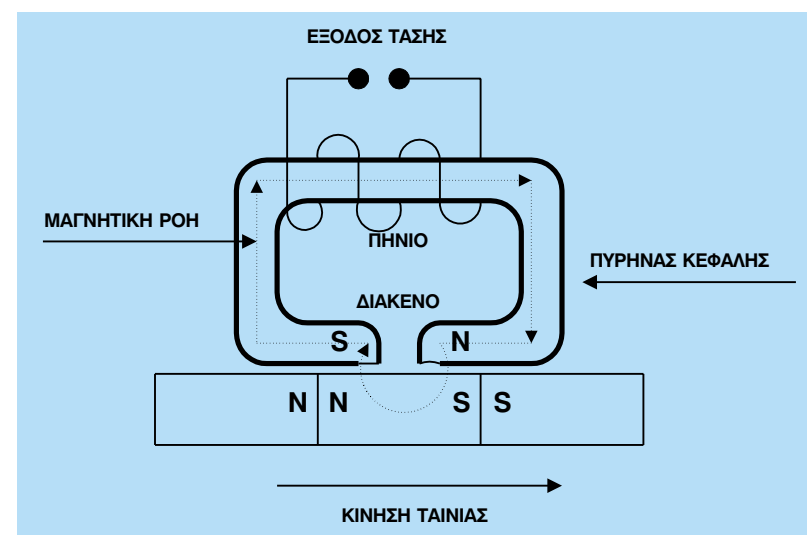
$$E = N \frac{d\Phi}{dt} \quad 2.2.1.1$$

N : Εκφράζει τον αριθμό των σπειρών του ηλεκτρομαγνήτη

Φ : Είναι η μαγνητική ροή

t : Είναι ο χρόνος

$d\Phi/dt$: Είναι η μεταβολή της μαγνητικής ροής συναρτήσει του χρόνου.



Σχήμα 2.2.1. Διαδικασία ανάπτυξης τάσης εξ επαγωγής στα άκρα του πηνίου του ηλεκτρομαγνήτη.

Είδαμε στην παράγραφο 2.1.2 ότι βασικό χαρακτηριστικό για την εγγραφή (αλλά και για την αναπαραγωγή) είναι το μήκος d του διακένου της κεφαλής. Αν το μήκος του διακένου d είναι ίσο με το μήκος κύματος λ του γραμμένου σήματος, τότε δεν αναπτύσσεται τάση εξ επαγωγής E . Για να έχουμε τάση εξόδου E και στα πιο μικρά μήκη κύματος λ_{min} (υψηλότερες συχνότητες f_{max}) θα πρέπει το διάκενο να είναι μικρότερο από το μήκος κύματος λ :

$$d < \frac{\lambda_{\min}}{2} \quad 2.2.1.2$$

$$\lambda = \frac{U}{f} \quad 2.2.1.3$$

U : ταχύτητα ταινίας

Η σχέση που δίνει τη μέγιστη συχνότητα αναπαραγωγής f_{\max} συναρτήσει της ταχύτητας της ταινίας U και του διάκενου d είναι:

$$f_{\max} = \frac{U}{2d} \quad 2.2.1.4$$

και η ταχύτητα είναι:

$$u = f_{\max} \cdot 2d \quad 2.2.1.5$$

2.2.2 Απώλειες κατά την εγγραφή - αναπα- γωγή.

Τόσο κατά την εγγραφή όσο και κατά την αναπαραγωγή υπάρχουν απώλειες, που έχουν επίδραση στην ποιότητα του σήματος. Αυτές είναι:

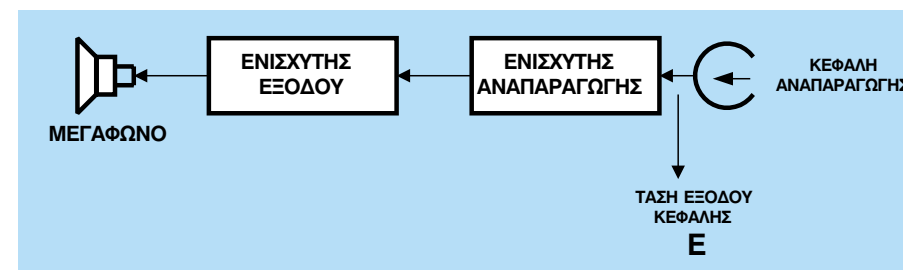
- Απώλεια λόγω διαγραφής κατά την εγγραφή Υ.Σ.
- Απώλεια από αλληλεπίδραση μαγνητισμένων περιοχών της ταινίας.
- Απώλεια από το πάχος της μαγνητικής επιστρώσης της ταινίας.
- Απώλειες δινορευμάτων του πυρήνα της κεφαλής.
- Απώλειες λόγω κακής επαφής της ταινίας στην κεφαλή
- Απώλειες κλίσης του διάκενου της κεφαλής
- Απώλειες λόγω του μήκους d του διάκενου της κεφαλής

Για να περιορισθούν οι απώλειες εγγραφής και αναπαραγωγής αναπτύσσονται κυκλώματα ισοστάθμισης (εγγραφής και αναπαραγωγής).

Στα κυκλώματα ισοστάθμισης κατά την εγγραφή η καμπύλη απόκρισης δίνει έμφαση στις υψηλές συχνότητες, ενώ τα κυκλώματα ενίσχυσης της τάσης αναπαραγωγής E θα έχουν τέτοια καμπύλη απόκρισης, ώστε το τελικό προϊόν να είναι ίδιο με το αρχικό σήμα παραγωγής.



Σχήμα 2.2.2. Διάγραμμα καμπυλών ισοστάθμισης εγγραφής - αναπαραγωγής



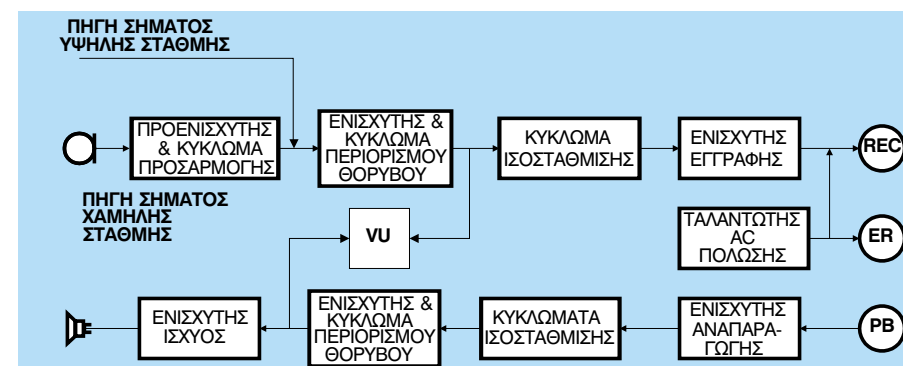
2.2.3 Διάγραμμα αναπαρ- αγωγής.

Σχήμα 2.2.3.1 Απλό δομικό διάγραμμα αναπαραγωγής

Η αναπτυσσόμενη τάση E από την κεφαλή αναπαραγωγής ενισχύεται από τον ενισχυτή αναπαραγωγής και οδηγείται στον τελικό ενισχυτή εξόδου, όπου ενισχύεται από πλευράς ισχύος για να οδηγήσει το μεγάφωνο. Το VU-μετρο είναι όργανο ένδειξης της στάθμης τόσο του σήματος εγγραφής όσο και της αναπαραγωγής.

Στις πιο πολλές περιπτώσεις η κεφαλή εγγραφής και αναπαραγωγής είναι κοινή. Η γεννήτρια των 100KHz, που είδαμε στην παράγραφο 2.1.5 και η οποία χρησίμευε σαν πόλωση AC στην εγγραφή, κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγής τίθεται εκτός λειτουργίας.

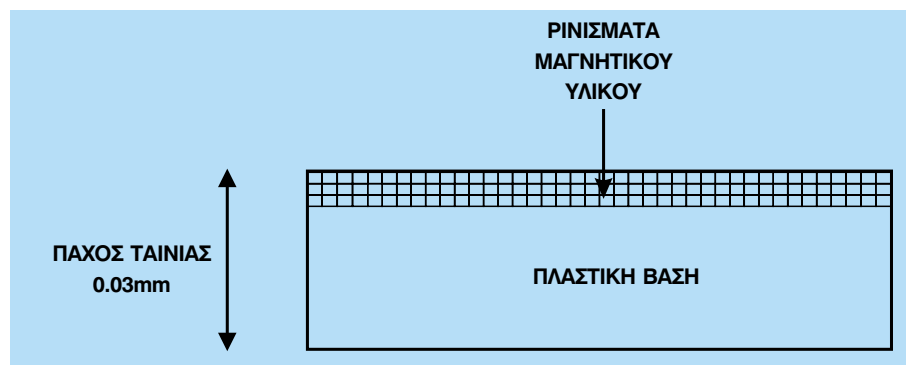
Στο σχήμα 2.2.3.2 φαίνεται το πλήρες δομικό διάγραμμα εγγραφής και αναπαραγωγής ενός κασετοφώνου.



Σχήμα 2.2.3.2 Δομικό διάγραμμα εγγραφής και αναπαραγωγής κασετοφώνου.

2.3 Μαγνητικές ταινίες.

Οι ταινίες που χρησιμοποιούνται για την εγγραφή και την αναπαραγωγή αποτελούνται από πλαστική βάση πάνω στην οποία υπάρχει επίστρωση ρινισμάτων μαγνητικού υλικού.



Σχήμα 2.3. Μαγνητική ταινία

Η πλαστική βάση συνήθως είναι από πολυβινοχλωρίδια ή σελλουλόζη και έχει πάχος 0,03mm.

Τα ρινίσματα του μαγνητικού υλικού βρίσκονται σε μία ρευστή πλαστική μάζα, η οποία επιστρώνεται ισοπαχώς κατά το δυνατότερο στην πλαστική βάση και το σύστημα ξεραίνεται με παροχή θερμού αέρα. Μετά την αποξήρανση το πάχος της μαγνητικής επίστρωσης είναι 0,06mm έως 0,015mm.

Οι μαγνητικές ταινίες διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με το υλικό των ρινισμάτων της μαγνητικής επίστρωσης:

- Απλή ταινία (Normal Tape)
- Ταινία σιδήρου -χρωμίου (Ferri-chrome Tape)
- Ταινία χρωμίου (Chrome Tape)
- Ταινία μετάλλου (Metal Tape)

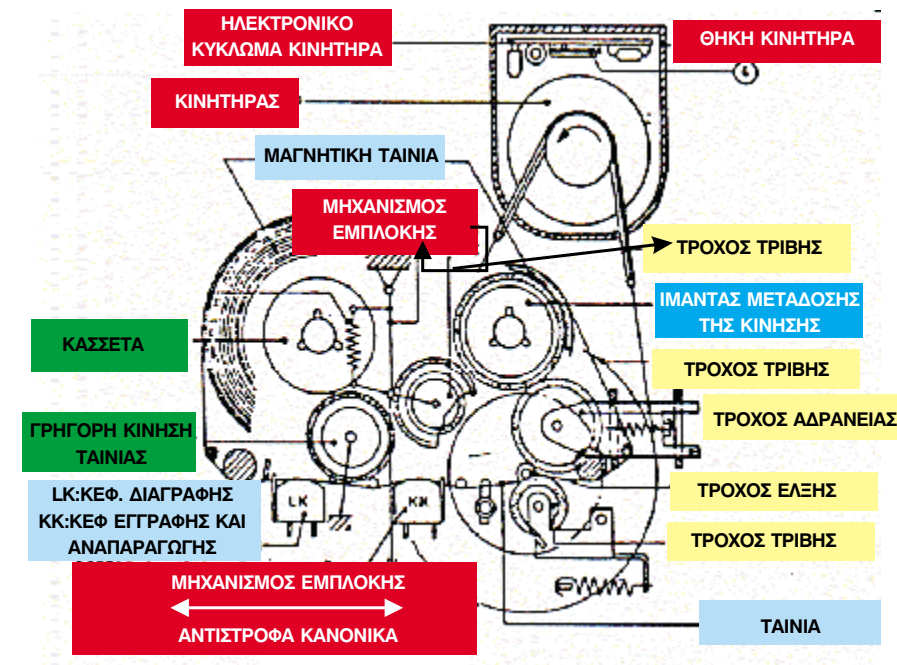
• Οι απλές ταινίες χρησιμοποιούν σαν μαγνητική επίστρωση ρινίσματα οξειδίων του σιδήρου Fe_2O_3 σε μία μόνο στρώση.

Οι ταινίες σιδήρου-χρωμίου χρησιμοποιούν σε μίξη οξείδια σιδήρου και χρωμίου $Fe_2O_3 + CrO_2$.

Οι ταινίες χρωμίου χρησιμοποιούν οξείδιο του χρωμίου αν και κυκλοφορούν και ταινίες με επίστρωση οξειδίων σιδήρου και κοβαλτίου. Οι ταινίες μετάλλου χρησιμοποιούν επίστρωση ρινισμάτων καθαρού μετάλλου ειδικής επεξεργασίας και πλεονεκτούν έναντι των υπολοίπων.

2.4 Μηχανισμός κίνησης της ταινίας.

Με τη βοήθεια του μηχανισμού κίνησης της ταινίας, αυτή οδηγείται μπροστά από τις κεφαλές εγγραφής - αναπαραγωγής και διαγραφής.



Σχήμα 2.4.1 Μηχανικό μέρος μαγνητοφώνου

Ο μηχανισμός κίνησης της ταινίας πρέπει να ικανοποιεί τις επόμενες απαιτήσεις:

- Να κινεί την ταινία μπροστά από τις κεφαλές με σταθερή ταχύτητα.
- Να εξασφαλίζει την ελάχιστη φθορά της ταινίας και των κεφαλών.
- Να επιταχύνει εμπρός και πίσω (F.FWD & REW), να διακόπτει την κίνηση (STOP), να παύει στιγμιαία την κίνηση (PAUSE) με ομαλό τρόπο, όταν το επιθυμεί ο χειριστής.
- Να εξασφαλίζει την ομαλή κίνηση της ταινίας υπό δυσμενείς συνθήκες θερμοκρασίας, πίεσης κλπ.

Ο μηχανισμός κίνησης της ταινίας αποτελείται από τα παρακάτω βασικά εξαρτήματα.

1. Τροχό έλξης (Capstan)
2. Τροχό πίεσης (Pressure roller)
3. Τροχό αδράνειας (Idler)
4. Τροχό παροχής ταινίας (Supply reel)
5. Τροχό συγκέντρωσης ταινίας (Take up reel)
6. Βραχίονες πίεσης ταινίας (Tension arm)
7. Φρένα (Brakes)

Μία από τις πλέον βασικές απαιτήσεις του μηχανισμού κίνησης της ταινίας είναι η σταθερή της ταχύτητα. Ακόμη και μία μικρή μεταβολή στη ταχύτητα κίνησης της ταινίας είναι δυνατόν να οδηγήσει σε μία μεγάλη παραμόρφωση του σήματος.

Αυτές οι μεταβολές της ταχύτητας της ταινίας καλούνται **WOW & FLUTTER**.

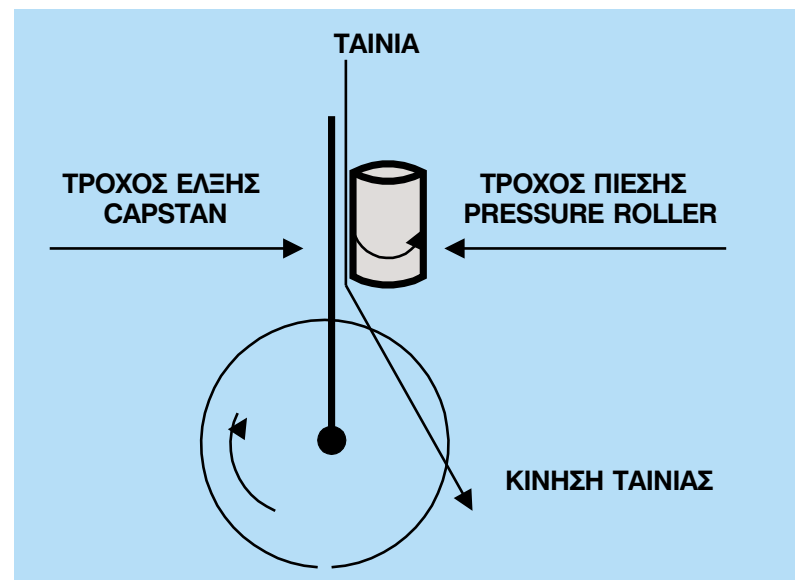
WOW είναι η μεταβολή, που οφείλεται στην ανομοιομορφία του συστήματος κίνησης της ταινίας ενώ

FLUTTER είναι η μεταβολή ταχύτητας, που οφείλεται στην ανομοιομορφία της δύναμης, που ασκείται στην ταινία κατά την κίνησή της.

Το **WOW & FLUTTER** αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό των μαγνητοφώνων και δίνεται από τους κατασκευαστές τους σε ποσοστό %.

Με τον τροχό αδράνειας σταθεροποιείται η ταχύτητα της ταινίας. Ο τροχός αδράνειας έχει μεγάλη μάζα και παίρνει κίνηση από τον κινητήρα μέσω ενός μάντα. Έτσι οι μεταβολές της ταχύτητας του κινητήρα εξουδετερώνονται λόγω αδράνειας του τροχού **IDLER**.

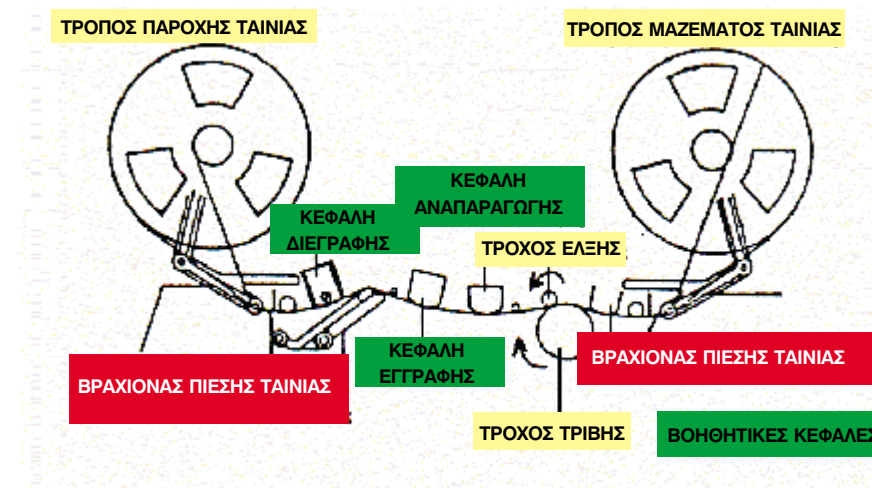
Ο τροχός έλξης (**CAPSTAN**) μαζί με τον τροχό πίεσης (**PRESSURE ROLLER**) εξασφαλίζουν τη σταθερή έλξη της ταινίας. Ο τροχός έλξης παίρνει κίνηση από τον κινητήρα και με την ενεργοποίηση του **PLAY** μπαίνει σε επαφή με αυτόν και ο τροχός πίεσης. Μεταξύ τους βρίσκεται η ταινία.



Σχήμα 2.4.2 Το σύστημα τροχού έλξης (**CAPSTAN**)- ταινίας - τροχού πίεσης (**PRESSURE ROLLER**) και οι κινήσεις τους σε θέση **PLAY BACK** ή **REC**.

Τα μηχανικά φρένα χρησιμοποιούνται για το σταμάτημα του μαγνητοφώνου. Τα καρούλια φρενάρουν από δύο σιαγόνες με επιφάνεια τσόχας.

Οι κεφαλές είναι στερεωμένες σε ένα βραχίονα μαζί με τα ρόλλερ. Κατά την εγγραφή ή αναπαραγωγή το σύστημα μετακινείται και το ρόλλερ (τροχός πίεσης) εφάπτεται πάνω στον τροχό έλξης, οι δε κεφαλές μπαίνουν στις υποδοχές της κασέτας ερχόμενες σε επαφή με την ταινία.



Σχήμα 2.4.3 Μηχανισμός κίνησης της ταινίας.

2.5.1 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 2

1. Προσδιορίστε την έννοια της παραμένουσας μαγνήτισης ενός σιδηρομαγνητικού υλικού.
2. Στην παραμένουσα μαγνήτιση **Br** ενός υλικού αντιστοιχεί:
 -μέγιστη ένταση του μαγνητικού πεδίου **H**
 -μηδενική ένταση του μαγνητικού πεδίου **H**
 -ενδιάμεση ένταση του μαγνητικού πεδίου **H**.
 (υπογραμμίστε τη σωστή απάντηση)
3. Η συνεκτική δύναμη **Hc** στο βρόγχο υστέρησης προκαλεί:
 -εξουδετέρωση της παραμένουσας μαγνήτισης του υλικού
 -αύξηση της παραμένουσας μαγνήτισης του υλικού
 -δεν επιδρά στην παραμένουσα μαγνήτιση του υλικού.
 (υπογραμμίστε τη σωστή απάντηση)
4. Με ποια χαρακτηριστικά των κεφαλών έχουν σχέση οι διαστάσεις του διάκενου (GAP) , **μήκος** και **ύψος**;
5. Αν η χαρακτηριστική μαγνήτισης που προέρχεται από το βρόγχο υστέρησης είναι απόλυτα γραμμική (υποθετικό υλικό) τότε:
 -επιβάλλεται πόλωση **DC**
 -επιβάλλεται πόλωση **AC**
 -δεν απαιτείται κανενός είδους πόλωση .
 (υπογραμμίστε τη σωστή απάντηση)
6. Ποια θα είναι η ταχύτητα της ταινίας για την αναπαραγωγή σήματος μεγίστης συχνότητας 15 KHZ από κεφαλή με διάκενο $d=0,009\text{mm}$.
7. Η γεννήτρια AC πόλωσης ενεργοποιείται κατά τη διάρκεια:
 -της εγγραφής
 -της αναπαραγωγής
 -εγγραφής και αναπαραγωγής.
 (υπογραμμίστε τη σωστή απάντηση)
8. Ποιες είναι οι κατηγορίες των ταινιών και ποια πλεονεκτεί έναντι των υπολοίπων;
9. Τη σταθερή έλξη της ταινίας εξασφαλίζει:
 -ο τροχός αδράνειας (Idler)
 -ο τροχός παροχής ταινίας (Supply Reel)
 -ο τροχός έλξης (Capstan)
 -ο τροχός έλξης μαζί με τον τροχό πίεσης (Capstan + Pressure Roller)
 (υπογραμμίστε τη σωστή απάντηση)
10. Προσδιορίστε την έννοια των WOW και FLUTTER.
11. Τα κυκλώματα ισοστάθμισης , κατά την εγγραφή δίνουν έμφαση στις χαμηλές συχνότητες;
 σωστό ή λάθος.
12. Ποιες είναι οι απώλειες που έχουν επίδραση στην ποιότητα του σήματος κατά την εγγραφή και αναπαραγωγή;

13. Ποιό σκοπό εξυπηρετεί το VU-μετρο (όργανο) κατά την εγγραφή και την αναπαραγωγή.
14. Ο τροχός αδράνειας διαθέτει δικό του κινητήρα.
 σωστό ή λάθος.
15. Η ταινία έλκεται με τη βοήθεια του τροχού έλξης και του τροχού πίεσης , όταν αυτοί εμπλέκονται μεταξύ τους , αφού ενεργοποιηθεί το **PLAY**.
 σωστό ή λάθος.
16. Για ποιο λόγο οι κεφαλές διαγραφής είναι μεγαλύτερες από τις κεφαλές εγγραφής;
17. Η επιφάνεια της καμπύλης υστέρησης :
 εκφράζει ωφέλιμη ενέργεια
 δεν εκφράζει ωφέλιμη ενέργεια
 (υπογραμμίστε τη σωστή απάντηση)
18. Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των μαγνητικών κεφαλών είναι φύλλο μετάλλου ή λεπτό στρώμα μονοξειδίου του πυριτίου.
 σωστό ή λάθος.
19. Κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγής , αν το διάκενο της κεφαλής **d** είναι ίσο με το μήκος κύματος **λ** της πληροφορίας τότε:
 έχουμε μέγιστη τάση εξόδου
 έχουμε μηδενική τάση εξόδου
 (υπογραμμίστε τη σωστή απάντηση)

30 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Ψηφιακές συσκευές επεξεργασίας ήχου

Σκοπός

Σκοπός του Τρίτου Κεφαλαίου είναι ο μαθητής να μπορεί :

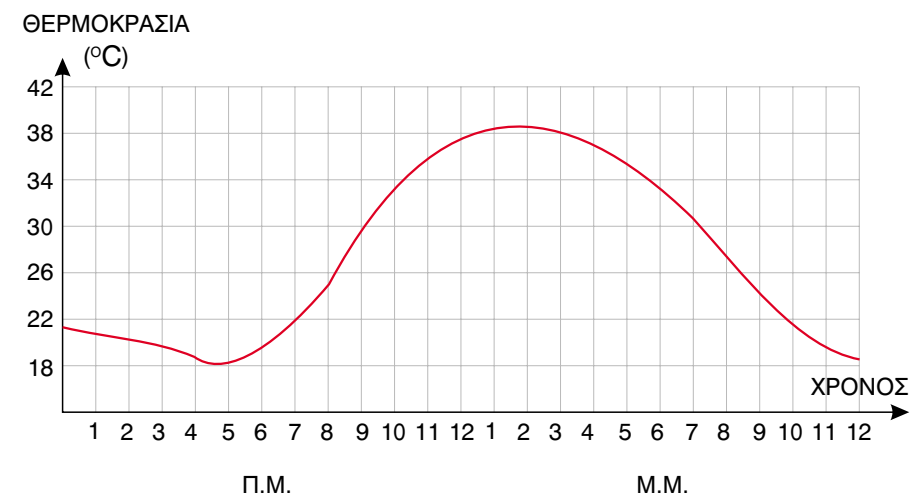
- Να διακρίνει τα διάφορα στάδια επεξεργασίας κατά τη μετατροπή του αναλογικού σήματος ήχου σε ψηφιακό
- Να αναλύει την αρχή λειτουργίας και να περιγράφει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συσκευών επεξεργασίας ψηφιακού ήχου.
- Να γνωρίζει τη λειτουργία των ψηφιακών συσκευών μίξης ήχου

Εισαγωγή

Για να αποθηκεύσουμε και να επεξεργασθούμε τον ήχο, το μετατρέπουμε με τη βοήθεια των μικροφώνων σε αναλογικό ηλεκτρικό σήμα. Το σήμα αυτό μπορούμε να το επεξεργασθούμε είτε όπως είναι (δηλαδή σε αναλογική μορφή), είτε να το μετατρέψουμε σε ψηφιακό. Η επεξεργασία και αποθήκευση του ήχου σε ψηφιακή μορφή παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα και για το λόγο αυτό οι ψηφιακές συσκευές επεξεργασίας ήχου κατακτούν συνέχεια έδαφος και εκτοπίζουν τις αντίστοιχες αναλογικές από την αγορά.

3.1 ΨΗΦΙΑΚΟ ΣΗΜΑ

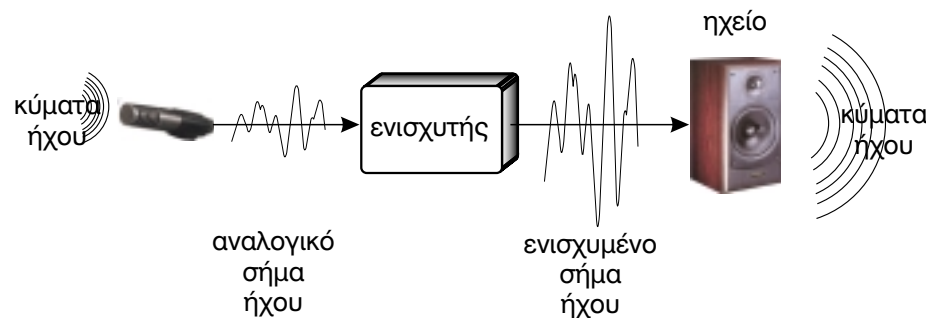
Αναλογικά ονομάζουμε τα σήματα, τα οποία μπορούν να λάβουν σε συνεχή ακολουθία όλες τις δυνατές τιμές μεταξύ δύο ορίων σε συνάρτηση με το χρόνο. Τα περισσότερα φυσικά μεγέθη, που τα συναντούμε και στην καθημερινή ζωή, όπως η θερμοκρασία, η πίεση, ο ήχος, είναι αναλογικά. Εάν εξετάσουμε τη θερμοκρασία του αέρα στη διάρκεια της ημέρας, παρατηρούμε, ότι μεταβάλλεται συνεχώς, περνώντας διαδοχικά από όλες τις ενδιάμεσες μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής. Η μετάβαση, για παράδειγμα, από τους 19οC στους 20ο C δεν γίνεται στιγμιαία, αλλά μεσολαβεί χρόνος, κατά τον οποίο η θερμοκρασία λαμβάνει όλες τις ενδιάμεσες τιμές μέχρι να καταλήξει στους 20ο C. Εάν παραστήσουμε γραφικά τη μεταβολή της θερμοκρασίας στο χρόνο, θα έχουμε ομαλή συνεχή καμπύλη σαν αυτή του σχήματος 3.1α



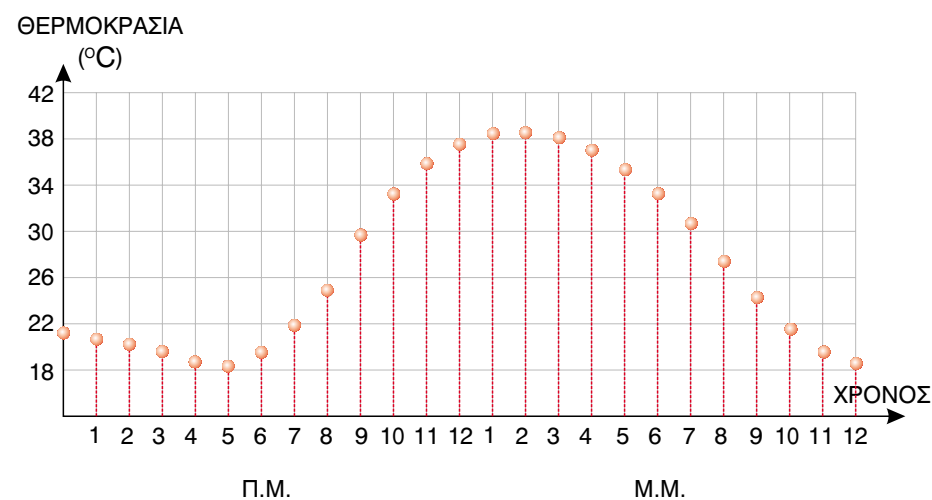
Σχήμα 3.1α Γραφική παράσταση μεταβολής της θερμοκρασίας στη διάρκεια της ημέρας

Για να επεξεργαστούν οι ηλεκτρονικές συσκευές αναλογικά μεγέθη τα μετατρέπουν σε ηλεκτρικά σήματα, τα οποία λαμβάνουν κυματομορφές ανάλογες των φυσικών μεγεθών και επομένως είναι και αυτά αναλογικά. Ο ήχος, για παράδειγμα, μετατρέπεται από το μικρόφωνο σε ηλεκτρικό σήμα, το ενισχύουμε και το μετατρέπουμε πάλι σε ήχο με μεγαλύτερη ένταση. Ψηφιακά ονομάζουμε τα σήματα, τα οποία λαμβάνουν περιορισμένο αριθμό διακριτών τιμών. Τα αναλογικά μεγέθη μπορούμε να τα μετατρέψουμε είτε σε αναλογικά, είτε σε ψηφιακά ηλεκτρικά σήματα.

Για παράδειγμα, αν μετράμε τη θερμοκρασία ανά μία ώρα και παραστήσουμε γραφικά τη μεταβολή της θερμοκρασίας στο χρόνο, προκύπτει η ασυνεχής καμπύλη του σχήματος 3.1c

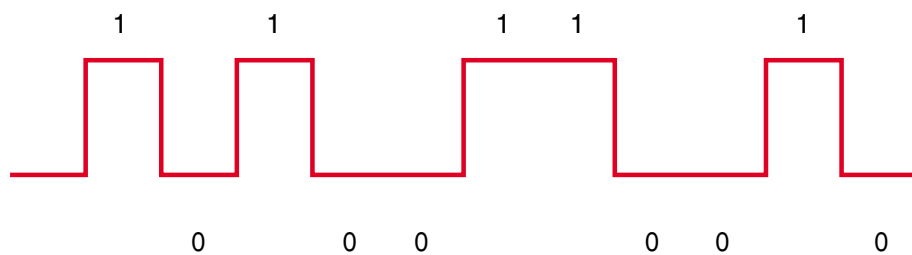


Σχήμα 3.1b Μετατροπή ήχου σε αναλογικό ηλεκτρικό σήμα



Σχήμα 3.1c Γραφική παράσταση της θερμοκρασίας ανά μία ώρα στη διάρκεια της ημέρας.

Η καμπύλη αυτή δεν αποτελεί ψηφιακή απεικόνιση της θερμοκρασίας, αλλά των δειγμάτων της θερμοκρασίας σε διακριτά σημεία του χρόνου. Η απεικόνιση αυτή μας βοηθάει να μετατρέψουμε τη θερμοκρασία σε ψηφιακό σήμα. Εάν σε κάθε δείγμα αντιστοιχίσουμε ένα δυαδικό αριθμό και μετατρέψουμε τα ψηφία 1 και 0 σε παλμούς, τότε απεικονίζουμε ψηφιακά τη θερμοκρασία και η κυματομορφή, που προκύπτει, είναι παρόμοια μ' αυτή του σχήματος 3.1d.



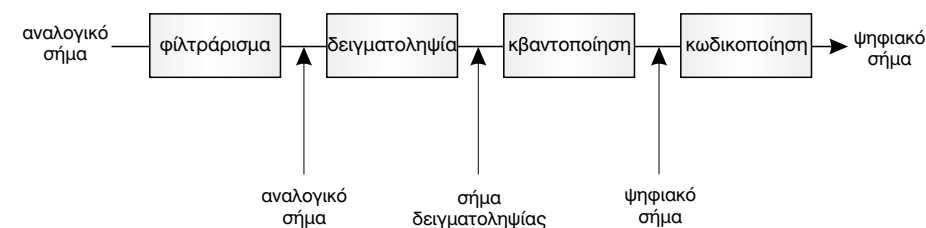
Σχήμα 3.1d Ψηφιακό σήμα

3.2 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΨΗΦΙΑΚΟ

Από τη φύση τους τα σήματα ήχου είναι αναλογικά και, συνεπώς, για να τα επεξεργαστεί το ψηφιακό σύστημα εγγραφής ήχου πρέπει να μετατραπούν σε ψηφιακά. Το αναλογικό σήμα για να μετατραπεί σε ψηφιακό, περνάει από τα ακόλουθα στάδια επεξεργασίας: Φιλτράρισμα, Δειγματοληψία, Κβαντοποίηση και Κωδικοποίηση. Το φιλτράρισμα πραγματοποιείται από βαθυπερατό αναλογικό φίλτρο, ενώ τα υπόλοιπα στάδια εκτελούνται από κυκλώματα, που ονομάζονται μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (DAC). Οι τεχνικές προδιαγραφές των μετατροπέων αυτών καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό τις επιδόσεις των ψηφιακών συσκευών επεξεργασίας ήχου.

Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας του αναλογικού σήματος στον DAC είναι η δειγματοληψία, με το κύκλωμα της οποίας λαμβάνουμε δείγματα της στάθμης του σήματος σε συγκεκριμένα σημεία της κλίμακας του χρόνου. Το σταθερό χρονικό διαστήματα μεταξύ των δειγμάτων ονομάζεται περίοδος δειγματοληψίας t_d .

3.2.1 Δειγματοληψία



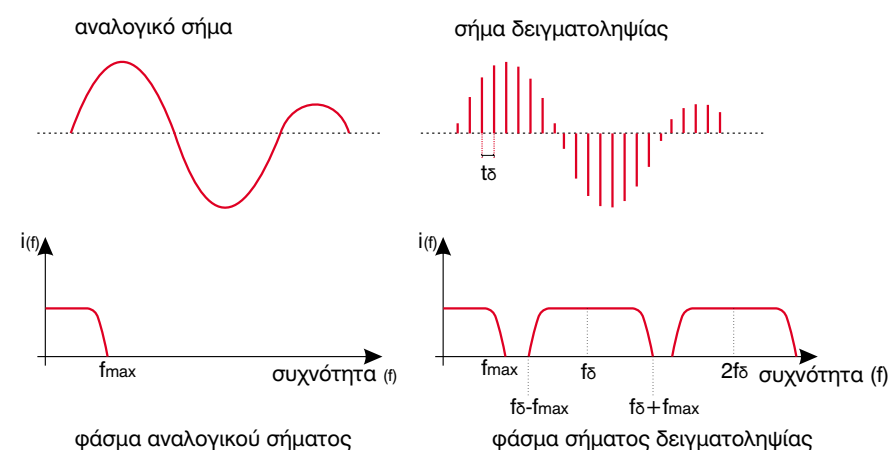
Σχήμα 3.2 Στάδια επεξεργασίας αναλογικού σήματος κατά τη μετατροπή του σε ψηφιακό

Ο αριθμός των δειγμάτων, που λαμβάνονται, καθορίζονται από τη συχνότητα δειγματοληψίας f_d , η οποία ισούται με το αντίστροφο της περιόδου δειγματοληψίας $f_d = 1/t_d$. Εάν η συχνότητα δειγματοληψίας είναι $f_d = 40 \text{ kHz}$, τότε λαμβάνονται 40.000 δείγματα το δευτερόλεπτο. Ουσιαστικά, με τη δειγματοληψία μετατρέπουμε την κλίμακα του χρόνου σε διακριτή, ενώ η κλίμακα της στάθμης παραμένει συνεχής, γιατί μπορούμε να έχουμε οποιαδήποτε τιμή στάθμης μεταξύ δύο ορίων, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.2.1.



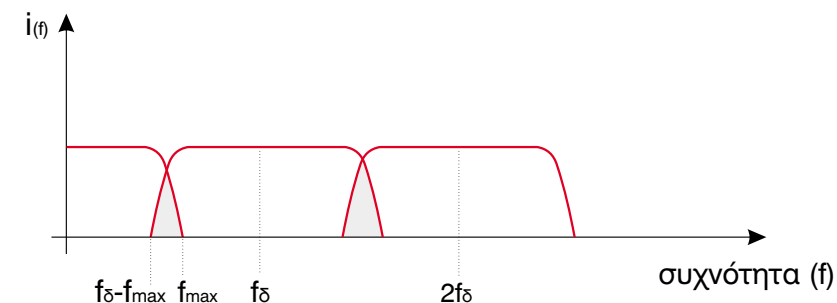
Σχήμα 3.2.1a Δειγματοληψία αναλογικού σήματος

Σύμφωνα με το κριτήριο Nyquist ή το θεώρημα Shannon, για να μη χαθούν πληροφορίες από το αναλογικό σήμα κατά τη φάση της δειγματοληψίας και επομένως, για να είναι δυνατή η ανασύνθεση του με ακρίβεια από το αντίστοιχο ψηφιακό, πρέπει η συχνότητα δειγματοληψίας να είναι τουλάχιστον διπλάσια από τη μέγιστη συχνότητα του αναλογικού σήματος. Το θεώρημα αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό από την εξέταση του φάσματος συχνοτήτων του αναλογικού σήματος και του σήματος δειγματοληψίας, που προκύπτει από το σχήμα 3.2.1 b, στην περίπτωση που $f_s > 2f_{max}$.



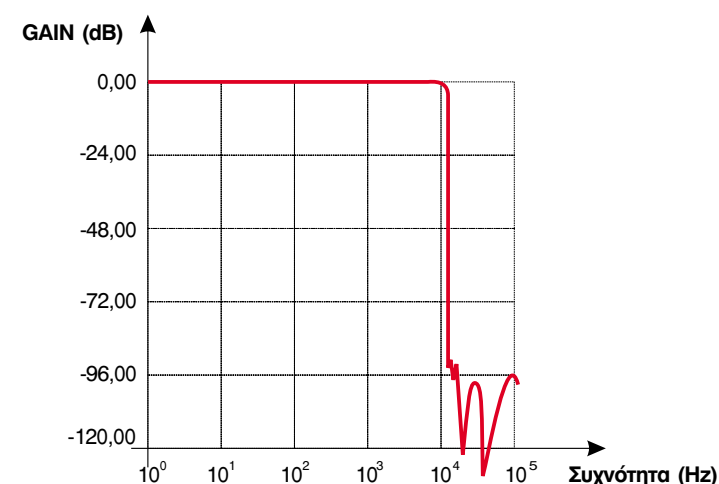
Σχήμα 3.2.1 b Φάσμα αναλογικού σήματος και δειγματοληψίας

Παρατηρούμε, ότι το φάσμα συχνοτήτων του σήματος δειγματοληψίας περιέχει το φάσμα του αναλογικού σήματος και επαναλήψεις αυτού γύρω από τα πολλαπλάσια της συχνότητας δειγματοληψίας. Συνεπώς με βαθυπερατό (low pass) φίλτρο μπορούμε να απομονώσουμε εντελώς το φάσμα του αναλογικού σήματος και έτσι να ανασυνθέσουμε πλήρως το αναλογικό σήμα. Στην περίπτωση, που η μέγιστη συχνότητα του σήματος είναι μεγαλύτερη από το μισό της συχνότητας δειγματοληψίας $f_{max} > f_s/2$ (όριο Nyquist), τότε στο φάσμα του σήματος δειγματοληψίας έχουμε επικαλύψεις, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2.1c, με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να διαχωρίσουμε πλήρως το φάσμα του αναλογικού σήματος. Έτσι, κατά την ανασύνθεσή του δημιουργούνται ψεύτικες συνιστώσες του σήματος (είδωλα). Το φαινόμενο αυτό της δημιουργίας ψεύτικων συνιστωσών (Aliasing) ονομάζεται επίσης και αναδίπλωση συχνοτήτων (foldover).



Σχήμα 3.2.1 c Φαινόμενο αναδίπλωσης συχνοτήτων (Foldover/Aliasing)

Για να αποφύγουμε το φαινόμενο της αναδίπλωσης συχνοτήτων, που οφείλεται στις αρμονικές του αναλογικού σήματος, οι μετατροπείς ADC διαθέτουν αναλογικό βαθυπερατό φίλτρο (Analog anti-aliasing Low Pass Filter), με το οποίο τις αφαιρούν, πριν ξεκινήσει η διαδικασία της δειγματοληψίας.

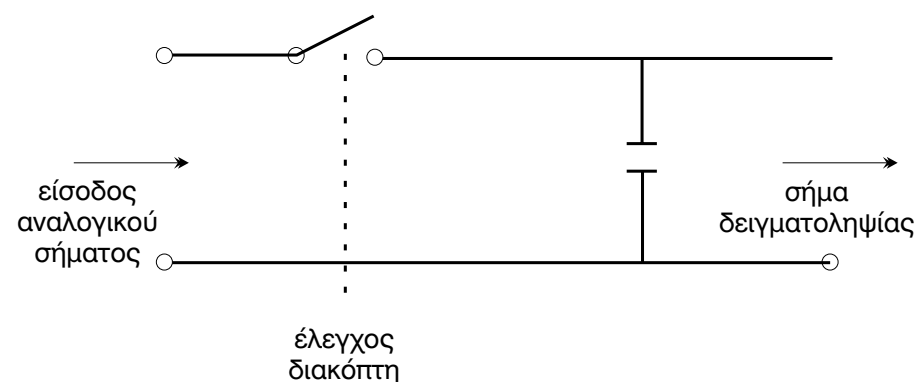


Σχήμα 3.2.1 d Χαρακτηριστική καμπύλη αναλογικού φίλτρου αντί-αλίας

Η επιλογή της συχνότητας δειγματοληψίας είναι πολύ σημαντική, επειδή καθορίζει την απόκριση συχνότητας των ψηφιακών συστημάτων ήχου και, κατά συνέπεια, το κόστος τους, το οποίο αυξάνει ανάλογα με τη συχνότητα δειγματοληψίας. Η μέγιστη απόκριση του συστήματος ισούται με το μισό της συχνότητας δειγματοληψίας. Στα σήματα ήχου, τα οποία έχουν εύρος ζώνης συχνοτήτων από 20 Hz έως 20 kHz, η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας, που αντιστοιχεί, σύμφωνα με το θεώρημα του Nyquist, είναι 40 kHz. Επειδή, όμως, στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητο φίλτρο αντί-αλίας με πολύ απότομη ζώνη μετάβασης, το οποίο κοστίζει, χρησιμοποιείται μεγαλύτερη συχνότητα δειγματοληψίας, δηλαδή 44.1 kHz. Επίσης, άλλες συχνότητες δειγματοληψίας, που χρησιμοποιούνται, είναι 32 και 48 kHz. Τα 32 kHz χρησιμοποιούνται στις εκπομπές ραδιοφώνου, όπου χρησιμοποιείται εύρος ζώνης ήχου μέχρι 15 kHz, ενώ τα 48 kHz στα επαγγελματικά ψηφιακά συστήματα ήχου για χρήση στα στούντιο.

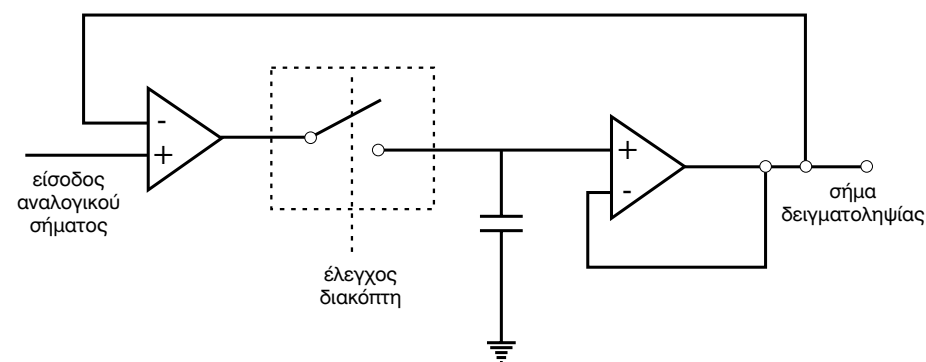
Στην πράξη, η δειγματοληψία υλοποιείται με το κύκλωμα δειγματοληψίας-κράτησης (Sample-and-hold circuit), το οποίο, στη βασική του μορφή, αποτελείται από ηλεκτρονικό διακόπτη και πυκνωτή υψηλής ποιότητας σχήμα 3.2.1 ε.

Για να ληφθεί δείγμα από το αναλογικό σήμα εισόδου, κλείνει προσωρινά ο διακόπτης, οπότε στον πυκνωτή εφαρμόζεται η τάση του σήματος, ο οποίος τη συγκρατεί μέχρι να ξανακλείσει ο διακόπτης. Η κράτηση της τάσης είναι απαραίτητη, για να δοθεί ο απαραίτητος χρόνος για την ολοκλήρωση της ψηφιοποίησης. Ο ηλεκτρονικός διακόπτης παραμένει κλειστός για ελάχιστο χρόνο, ο οποίος είναι αρκετός για τη λήψη του δείγματος με ακρίβεια 0,1% και ονομάζεται χρόνος απόκτησης (acquisition time).



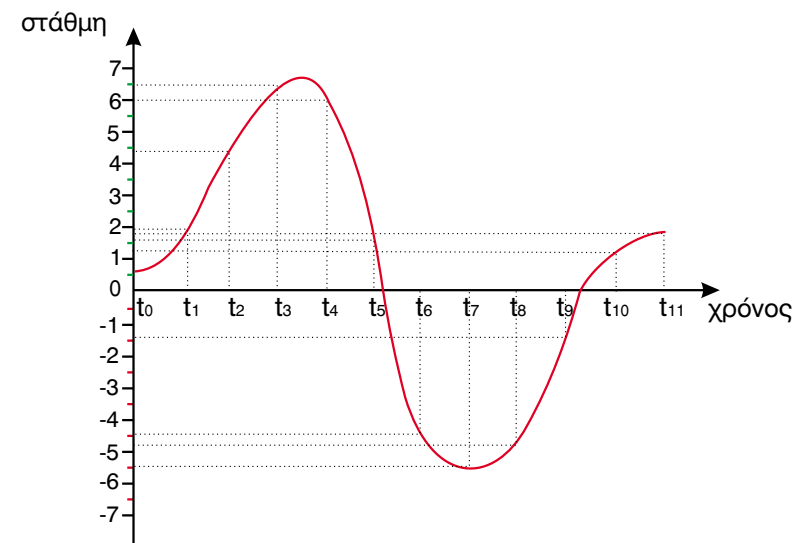
Σχήμα 3.2.1.ε Βασικό κύκλωμα δειγματοληψίας-κράτησης

Τα κυκλώματα δειγματοληψίας - κράτησης, που χρησιμοποιούνται στην πράξη, διαθέτουν στην είσοδο και στην έξοδο ενισχυτές απομόνωσης (Buffer amplifier), σχήμα 3.2.1 f. Ο ενισχυτής εισόδου χρησιμεύει για την απομόνωση της πηγής, ενώ της εξόδου για την οδήγηση του μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό σήμα (DAC).



Σχήμα 3.2.1 f Κύκλωμα δειγματοληψίας - κράτησης, που εφαρμόζεται στην πράξη.

Με την κβαντοποίηση, χωρίζουμε τη στάθμη του αναλογικού σήματος εισόδου σε περιοχές (διαστήματα). Σε κάθε δείγμα, που λάβαμε με τη διαδικασία της δειγματοληψίας, αντιστοιχούμε μία τιμή στάθμης (ένα επίπεδο στάθμης), ανάλογα με την περιοχή, που βρίσκεται. Η τιμή στάθμης, που αντιστοιχούμε σε κάθε δείγμα, είναι η κεντρική τιμή του διαστήματος, στο οποίο ανήκει. Στο παράδειγμα του σχήματος 3.2.2, έχουμε χωρίσει τη στάθμη του σήματος σε 16 περιοχές με κεντρικές τιμές τους αριθμούς από -8 έως +7.



δείγμα	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t ₁₁
στάθμη	1	2	4	7	6	2	-4	-5	-5	-1	1	2
κωδικοποίηση	0001	0010	0100	0111	0110	0010	1100	1011	1011	1111	0001	0010

Σχήμα 3.2.2 Κβαντοποίηση αναλογικού σήματος ήχου

Όταν οι περιοχές κβάντισης είναι όλες ίδιες, τότε το σύστημα κβαντοποίησης ονομάζεται γραμμικό (linear). Στην αντίθετη περίπτωση, έχουμε συστήματα κβάντισης μη γραμμικά (non linear). Το πλήθος των επιπέδων στάθμης εξαρτάται από τον αριθμό των ψηφίων του δυαδικού αριθμού, με τον οποίο προσδιορίζουμε τη τιμή κάθε δείγματος. Για δυαδικό αριθμό 4 ψηφίων, έχουμε $2^4 = 16$ επίπεδα στάθμης, για αριθμό 8 ψηφίων, $2^8 = 256$ επίπεδα στάθμης, ενώ, για αριθμό 16 ψηφίων, τα επίπεδα στάθμης είναι $2^{16} = 65.536$. Η επιλογή του αριθμού (N) των ψηφίων ανά δείγμα καθορίζει, επίσης, το μέγιστο λόγο σήματος προς το θόρυβο του συστήματος ήχου, ο οποίος δίδεται από τον τύπο:

$$\text{SNR(dB)} = 6.02N + 1.76$$

Ο αριθμός των ψηφίων ανά δείγμα (bits/sample) επιλέγεται στην κατασκευή του μετατροπέα και δεν μπορεί να αλλάξει κατά τη λειτουργία του συστήματος ήχου.

Ουσιαστικά αυτό που πετυχαίνουμε με την κβαντοποίηση είναι να μετατρέψουμε τη στάθμη του αναλογικού σήματος σε διακριτή, δηλαδή το σήμα, που προκύπτει, λαμβάνει περιορισμένο αριθμό τιμών στάθμης.

3.2.3
Κωδικοποίηση

Το τελικό στάδιο της μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό είναι η κωδικοποίηση, με την οποία αντιστοιχούμε σε κάθε τιμή δείγματος, ένα δυαδικό αριθμό. Διακρίνουμε δύο είδη δυαδικών κωδικών : τους μονοπολικούς και τους διπολικούς. Οι μονοπολικοί προσδιορίζουν μόνο το μέτρο στάθμης του δείγματος, ενώ οι διπολικοί και το πρόσημο της (θετικό ή αρνητικό) και για το λόγο αυτό προτιμούνται στις εφαρμογές ήχου. Για το προσδιορισμό του πρόσημου, οι διπολικοί κώδικες χρησιμοποιούν ένα επιπλέον ψηφίο, το ψηφίο πρόσημου. Ο διπολικός δυαδικός κώδικας, που χρησιμοποιείται, συνήθως, στις εφαρμογές ψηφιακού ήχου, είναι ο κώδικας συμπλήρωμα ως προς 2 (Two's complement), πίνακας 3.2.3.

Αριθμητικά, ο κώδικας αυτός σχηματίζεται από το δυαδικό κώδικα για τους θετικούς αριθμούς, ενώ οι αρνητικοί προκύπτουν από το απλό συμπλήρωμα (το 1 γίνεται 0 και το 0 γίνεται 1) του αντιστοίχου δυαδικού θετικού αριθμού και την πρόσθεση του 1.

Παράδειγμα: +2 = 0010
 -2 = 1101+1 = 1110

Στον κώδικα αυτό το αριστερό ψηφίο, που είναι το πιο σημαντικό ψηφίο (Most Significant Bit), αποτελεί το ψηφίο πρόσημου. Όταν είναι 0, δηλώνει θετική τιμή στάθμης, ενώ όταν είναι 1, αρνητική.

Δεκαδικός αριθμός	Συμπλήρωμα ως προς 2	Δεκαδικός αριθμός	Συμπλήρωμα ως προς 2
+7	0111	-1	1111
+6	0110	-2	1110
+5	0101	-3	1101
+4	0100	-4	1100
+3	0011	-5	1011
+2	0010	-6	1010
+1	0001	-7	1001
0	0000	-8	1000

Πίνακας 3.2.3 Κώδικας συμπλήρωμα ως προς δύο τεσσάρων ψηφίων

3.3 ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΗΧΟΥ

Κατά τη μετατροπή αναλογικού σήματος ήχου σε ψηφιακό, παράγεται σημαντική ποσότητα δεδομένων, η οποία εξαρτάται από τη χρονική διάρκεια και την ποιότητα του. Η ποιότητα καθορίζεται από τη συχνότητα δειγματοληψίας και τον αριθμό ψηφίων ανά δείγμα (Bits/sample). Η ποσότητα δεδομένων ψηφιακού ήχου (ΠΔΨΗ) σε kbps δίνεται από το τύπο :

$ΠΔΨΗ = (Fδ \times B \times N \times T) / 1000$, όπου:

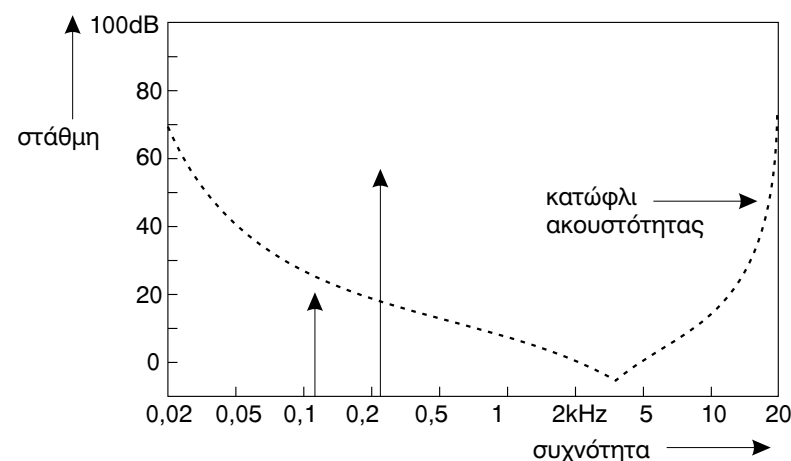
- Fδ συχνότητα δειγματοληψίας σε Hz,
- B αριθμός ψηφίων ανά δείγμα (Bit/sample),
- N αριθμός καναλιών
- T χρόνος σε δευτερόλεπτα(sec)

Στον πίνακα, που ακολουθεί, δίνεται ο ρυθμός δεδομένων, δηλαδή η ποσότητα δεδομένων, που παράγεται, στη μονάδα του χρόνου για διάφορες ποιότητες ψηφιακού ήχου.

Ποιότητα ήχου	Συχνότητα δειγματοληψίας (Hz)	Αριθμός ψηφίων ανά δείγμα	Αριθμός καναλιών	Ρυθμός δεδομένων kbit/s
Οπτικού δίσκου (CD)	44100	16	2(stereo)	1.411
Ραδιοφώνου	22050	8	1(Mono)	176
Τηλεφώνου	11025	8	1(Mono)	88

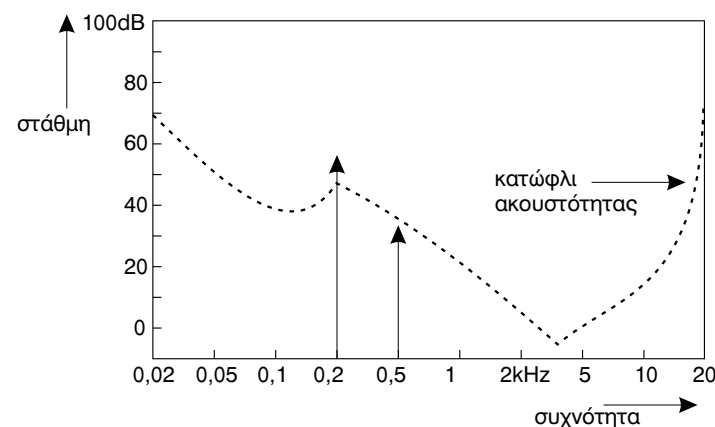
Αν, όμως, λάβουμε υπόψη τη χρονική διάρκεια του ήχου, για παράδειγμα ενός τραγουδιού, του οποίου η διάρκεια είναι, συνήθως, τρία λεπτά, τότε η ποσότητα δεδομένων, που προκύπτει για ποιότητα οπτικού δίσκου, ισούται με $(44100 \times 16 \times 2 \times 180) / (8 \times 1024) = 31007,8$ kbytes ή 30,28 Mbytes (1Mbytes = 1024 Kbytes). Αυτή η ποσότητα δεδομένων είναι πολύ μεγάλη και αυξάνει περισσότερο, όταν χρησιμοποιούμε περισσότερα κανάλια (συνήθως 5+1). Επομένως, δημιουργείται πρόβλημα κόστους αποθήκευσης και ταχύτητας μετάδοσης τους. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιείται συμπίεση δεδομένων ψηφιακού ήχου με τη χρήση αλγορίθμων συμπίεσης. Για την απόρριψη δεδομένων, οι αλγόριθμοι αυτοί λαμβάνουν υπόψη αρχές της ψυχο-ακουστικής, όπως:

- Το κατώφλι ακουστότητας. Η ευαισθησία του ανθρώπινου αυτιού μεταβάλλεται ανάλογα με την περιοχή συχνοτήτων, δηλαδή ήχος με δεδομένη στάθμη και συχνότητα μπορεί να γίνεται ανιληπτός, ενώ άλλος με μεγαλύτερη στάθμη αλλά με διαφορετική συχνότητα να μην γίνεται. Μπορεί, επομένως, στο συνολικό φάσμα συχνοτήτων του ήχου να καθορισθεί το απόλυτο κατώφλι(κάτω όριο) ακουστότητας. Αναλύοντας το σήμα ήχου μπορούμε να απορρίψουμε τα μέρη, που βρίσκονται κάτω από το κατώφλι ακουστότητας και, έτσι, να μειώσουμε το ρυθμό δεδομένων.



Σχήμα 3.3a Απόλυτο κατώφλι ακουστότητας

- Το φαινόμενο ακουστικής σκίασης (masking effect). Έχει παρατηρηθεί, ότι στο κατώφλι ακουστότητας κάθε συχνότητα του ακουστικού φάσματος μεταβάλλεται, καθώς επηρεάζεται από τις άλλες συχνότητες, που υπάρχουν στον ήχο, που ακούμε.



Σχήμα 3.3b Ακουστική σκίαση. Το υψηλής στάθμης σήμα B επικαλύπτει το χαμηλής στάθμης σήμα A ανεβάζοντας το κατώφλι ακουστότητας.

Δηλαδή, οι ισχυρότερης στάθμης ακουστικοί τόνοι επικαλύπτουν κάποιο ασθενέστερο με παραπλήσια συχνότητα. Επομένως, μπορούμε να απορρίψουμε τους τόνους, που επικαλύπτονται και, έτσι, να μειώσουμε το ρυθμό δεδομένων.

Οι αλγόριθμοι συμπίεσης διακρίνονται σε:

- **Απωλεστικούς** Οι αλγόριθμοι αυτοί μειώνουν τα δεδομένα του ψηφιακού ήχου σε τέτοιο βαθμό, που χάνεται μέρος της πληροφορίας, που μεταφέρει, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η ανασύσταση του σήματος ήχου στην αρχική του μορφή. Οι βαθμοί συμπίεσης, που πετυχαίνουμε, έτσι ώστε η διαφορά του αρχικού σήματος με το συμπιεσμένο να μην είναι ακουστικά αισθητή, είναι της τάξης του 7:1 έως 11:1.

- **Μη απωλεστικούς** Οι αλγόριθμοι αυτοί μειώνουν τα δεδομένα του ψηφιακού ήχου σε πολύ μικρό βαθμό και δεν προκαλούν απώλεια πληροφοριών. Ο βαθμός συμπίεσης, που επιτυγχάνεται, είναι μικρότερος του 2:1. Για το λόγο αυτό, για τη συμπίεση ήχου ή εικόνας, οι αλγόριθμοι αυτοί σπάνια χρησιμοποιούνται συνήθως μόνοι τους, αλλά συνήθως, χρησιμοποιούνται ως μέρος της συμπίεσης των απωλεστικών αλγορίθμων

Οι πιο δημοφιλείς αλγόριθμοι συμπίεσης ψηφιακού σήματος ήχου είναι:

- Dolby digital (AC-3)
- MPEG

Αλγόριθμος συμπίεσης MPEG

Ο **MPEG** (Moving Picture Experts Group) δεν είναι απλώς αλγόριθμος, αλλά οικογένεια διεθνών τυποποιήσεων κωδικοποίησης πληροφοριών εικόνας και ήχου σε συμπιεσμένη ψηφιακή μορφή. Η οικογένεια αυτή περιέχει τις τυποποιήσεις κωδικοποίησης ήχου και εικόνας MPEG-1 και 2. Στον MPEG-1 περιλαμβάνονται οι αλγόριθμοι συμπίεσης ήχου MPEG-1 layer 1, MPEG-1 layer 2 και MPEG-1 layer 3. Πρώτα δημιουργήθηκε ο MPEG-1 layer ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στο σύστημα συμπίεσης PASC του ψηφιακού συστήματος ήχου DCC. Ο αλγόριθμος αυτός προσφέρει συμπίεση 4:1 και ρυθμό δεδομένων 384 kbit/s(kbps). Στη συνέχεια, μετά από έρευνα, δημιουργήθηκε ο πιο βελτιωμένος αλγόριθμος συμπίεσης MPEG-1 layer 2, ο οποίος χρησιμοποιείται στις ψηφιακές ραδιοφωνικές εκπομπές, στη ψηφιακή τηλεόραση και στο DVD. Ο αλγόριθμος αυτός προσφέρει συμπίεση από 6:1 έως 8:1 και ρυθμό δεδομένων από 256kbps έως 192kbps. Τελευταίος δημιουργήθηκε ο αλγόριθμος συμπίεσης MPEG-1 layer 3 που προσφέρει πολύ καλή ποιότητα ήχου με μεγαλύτερη συμπίεση από τους προηγούμενους και χρησιμοποιείται ευρέως στο Διαδύκτιο(Internet) για τη μεταφορά ψηφιακών τραγουδιών και μουσικής δηλαδή αρχείων με επέκταση .MP3. Προσφέρει συμπίεση 10:1 και ρυθμό δεδομένων 128 kbps. Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι απωλεστικοί, δηλαδή μέρος της πληροφορίας ήχου χάνεται για πάντα κατά την συμπίεση και επεξεργάζονται δύο κανάλια ήχου.

Το σήμα ήχου στους αλγόριθμους MPEG-1 layer 1, MPEG-1 layer χωρίζεται σε 32 ζώνες συχνοτήτων, ενώ στον MPEG-1 layer 3 σε 576 και με τη χρήση ψυχοακουστικών μοντέλων καθορίζεται για κάθε ζώνη ένα κατώφλι ακουστότητας. Με βάση το κατώφλι αυτό γίνεται η απόρριψη των μη ακουστών συχνοτήτων. Τα ψυχοακουστικά μοντέλα των αλγορίθμων αυτών χρησιμοποιούν τις ιδιαιτερότητες της ανθρώπινης ακοής και, κυρίως, το φαινόμενο της ακουστικής σκίασης.

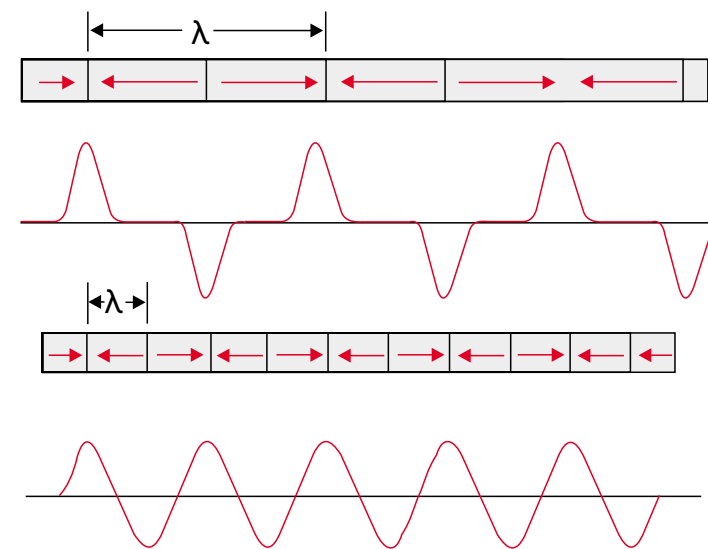
Αλγόριθμος συμπίεσης Dolby digital (AC-3)

Ο **AC-3** είναι ψηφιακός κώδικας συμπίεσης υψηλής ποιότητας και πολλαπλών καναλιών. Ο κώδικας αυτός κατασκευάστηκε για πολλαπλά κανάλια, τα οποία επεξεργάζεται σαν ένα, με αποτέλεσμα να πετυχαίνει χαμηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων της τάξης των 320 kbit/s(kbps) σε σχέση με άλλους κώδικες. Λόγω της υψηλής ποιότητας ήχου, της συμβατότητας με τους ήδη υπάρχοντες αποκωδικοποιητές Pro Logic και την ικανότητα να εξυπηρετεί

μεγάλη βάση κωδικοποιητών μονοφωνικών, στερεοφωνικών και πολλαπλών καναλιών με μονή ροή bits, η ψηφιακή κωδικοποίηση dolby έγινε ευρύτατα αποδεκτή. Το 1996 η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών των Ηνωμένων Πολιτειών καθόρισε τις τυποποιήσεις για τη ψηφιακή τηλεόραση και μεταξύ αυτών υιοθέτησε το dolby digital ως ψηφιακή τυποποίηση ήχου. Η κωδικοποίηση dolby digital χρησιμοποιείται στα ηλεκτρονικά συστήματα, όπως VCR, οπτικούς δίσκους, HDTV, στα πολυμέσα και στην καλωδιακή τηλεόραση. Επίσης, στους DVD video δίσκους ένα ίχνος ήχου είναι αφιερωμένο σε κωδικοποίηση Dolby digital.

3.3 ΑΡΧΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΓΓΡΑΦΗΣ

Η ψηφιακή εγγραφή είναι διαφορετική από την αναλογική. Το αναλογικό σήμα ήχου, που εισέρχεται σε ψηφιακή συσκευή επεξεργασίας ήχου, περνάει από το μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, όπου λαμβάνονται τόσα δείγματα το δευτερόλεπτο από τη στάθμη του σήματος, όσα καθορίζει η συχνότητα δειγματοληψίας. Για παράδειγμα, με συχνότητα δειγματοληψίας 48 KHz λαμβάνονται 48.000 δείγματα το δευτερόλεπτο. Σε κάθε δείγμα δίδεται συγκεκριμένη αριθμητική τιμή. Αυτοί οι αριθμοί, που αντιπροσωπεύουν την κωδικοποιημένη στάθμη του σήματος ήχου, μετατρέπονται σε ψηφιακό σήμα ήχου, το οποίο εγγράφεται στο μέσο αποθήκευσης του συστήματος. Ο τρόπος αποθήκευσης εξαρτάται από το είδος του μέσου αποθήκευσης (οπτικός δίσκος, μικρός δίσκος, σκληρός δίσκος, μαγνητική ταινία). Στην περίπτωση μαγνητικού μέσου, όπως η μαγνητική ταινία, η αποθήκευση του σήματος γίνεται με τη μορφή παραμένοντος μαγνητισμού, δηλαδή η μαγνητική κεφαλή μετατρέπει το ψηφιακό ηλεκτρικό σήμα σε μαγνητικό πεδίο, το οποίο μαγνητίζει τη μαγνητική επίστρωση της ταινίας. Οι δύο στάθμες 0 και 1, του ψηφιακού σήματος αντιστοιχούν στις δύο πολικότητες του μαγνητισμού όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3. Ψηφιακή μαγνητική εγγραφή με διαφορετικό μήκος κύματος.