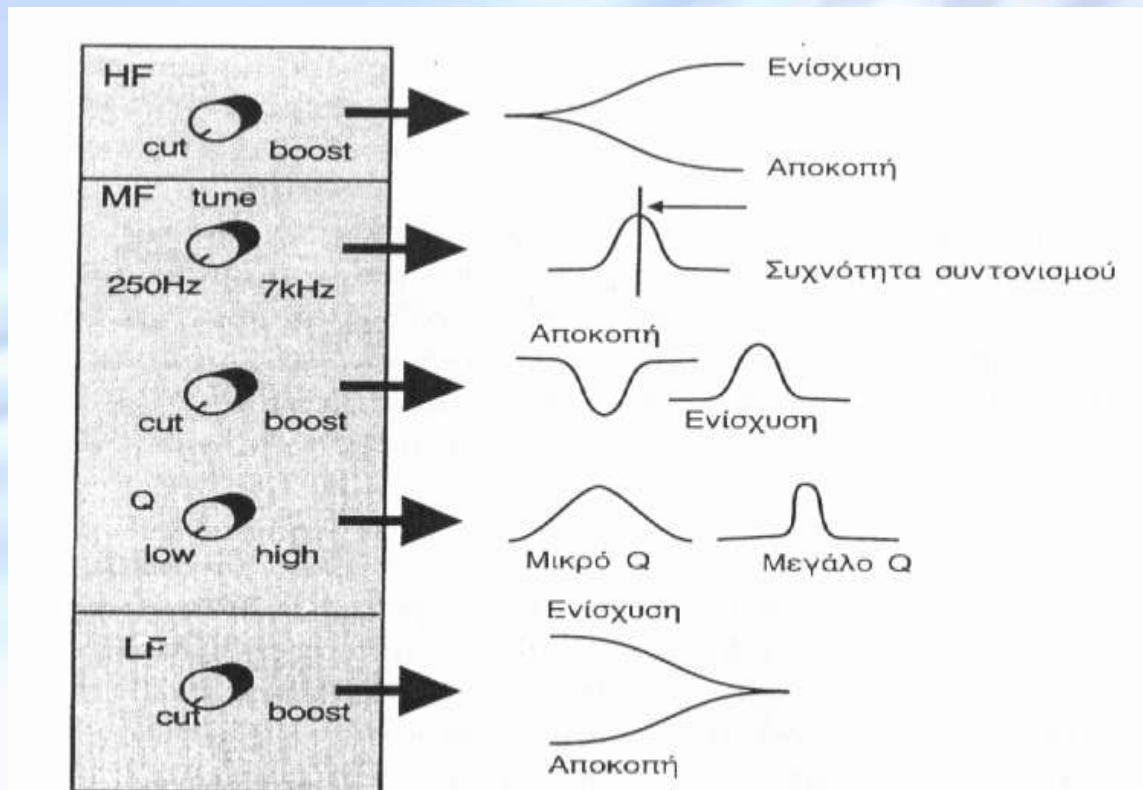


Επεξεργασία Ήχου Φωνής
7^η Διάλεξη

EQUALISERS

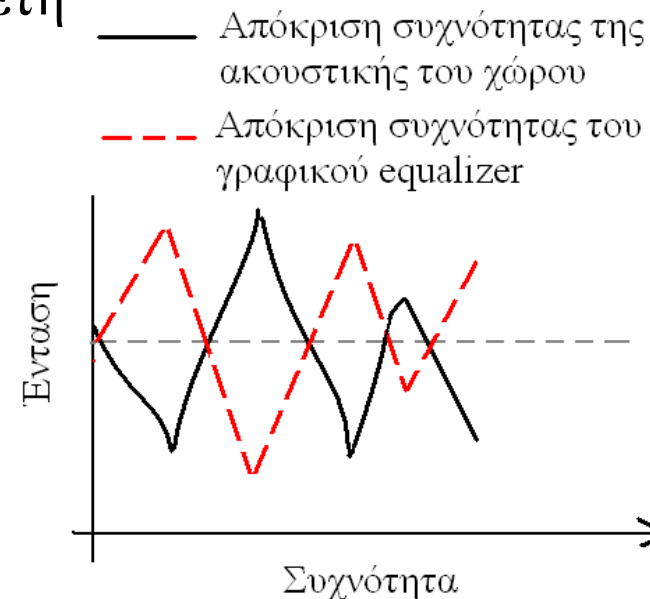
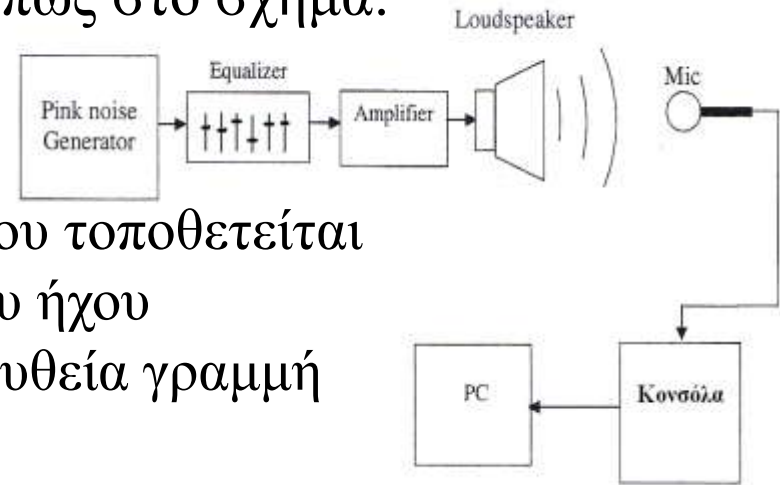
EQUALISER (EQ)

- Ένα σύστημα που χρησιμοποιείται για να μεταβάλει τα φασματικά χαρακτηριστικά ενός ηχητικού σήματος.
- Ένα τυπικό EQ μπορεί να χωριστεί σε τρεις περιοχές δράσης στις χαμηλές(LF), μεσαίες(MF) και υψηλές(HF).
- Οι βασικές διεργασίες που μπορούν να πραγματοποιηθούν είναι ενίσχυση/αποκοπή, αλλαγή εύρους ζώνης κτλ.



EQ ως Ισοσταθμιστής

- Για να «φτιάξει» η ακουστική σ' ένα σημείο του χώρου χρησιμοποιείται ένα γραφικό EQ. Η ρύθμισή του γίνεται όπως στο σχήμα:
- Γεννήτρια ροζ θορύβου συνδέεται πριν το EQ και τον ενισχυτή.
- Στο σημείο προς ρύθμιση της ακουστικής του τοποθετείται μικρόφωνο και γίνεται φασματική ανάλυση του ήχου
- Αν δεν υπάρχει παραμόρφωση εμφανίζεται ευθεία γραμμή στο φασματικό αναλυτή.
- Αν υπάρχει αλλοίωση ρυθμίζεται από το EQ αντίθετη απόκριση όπως φαίνεται στο σχήμα.
- Μειονεκτήματα της μεθόδου:
- Σωστή απόκριση μόνο για το συγκεκριμένο σημείο, και για την συγκεκριμένη κατάσταση.



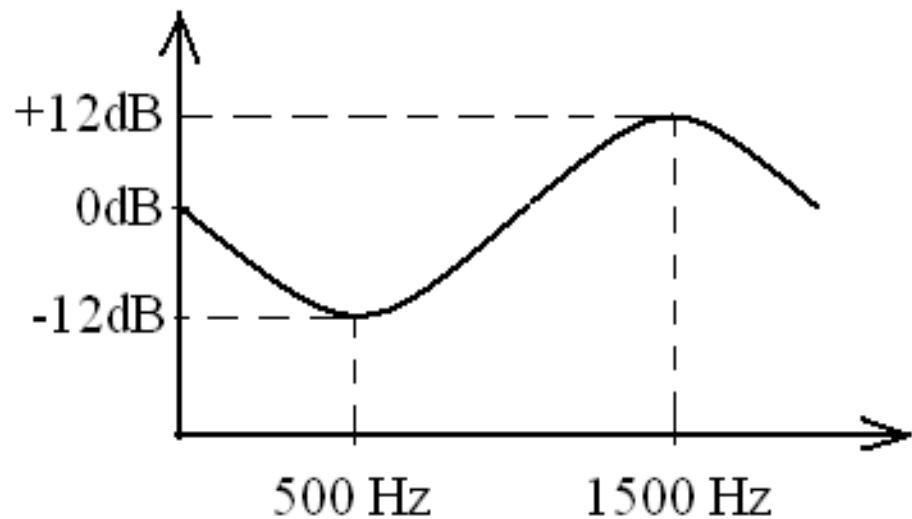
- **Παράδειγμα:** Ένα ημιτονικό σήμα συχνότητας 500 Hz και πλάτους 2 V διέρχεται μέσα από ένα equalizer του οποίου η απόκριση συχνότητας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Να βρεθεί το πλάτος του σήματος στην έξοδο του equalizer. Ποια είναι η αντίστοιχη τιμή του πλάτους για ένα ημιτονικό σήμα 1500 Hz το οποίο εισέρχεται με πλάτος 1 V στο ίδιο equalizer;

- **Απάντηση:** Από το σχήμα φαίνεται ότι το σήμα συχνότητας 500 Hz εξερχόμενο από το equalizer εξασθενεί κατά 12 dB. Αυτό σημαίνει ότι αν V_{in} και V_{out} είναι το πλάτος του σήματος στην είσοδο και στην έξοδο του EQ τότε θα ισχύει:

$$20 \log_{10} \frac{V_{out}}{V_{in}} = -12 \text{ dB} \text{ άρα } \log_{10} \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{12}{20}, \text{ και επομένως, } \frac{V_{out}}{V_{in}} = 10^{-\frac{12}{20}} \approx 0.25$$

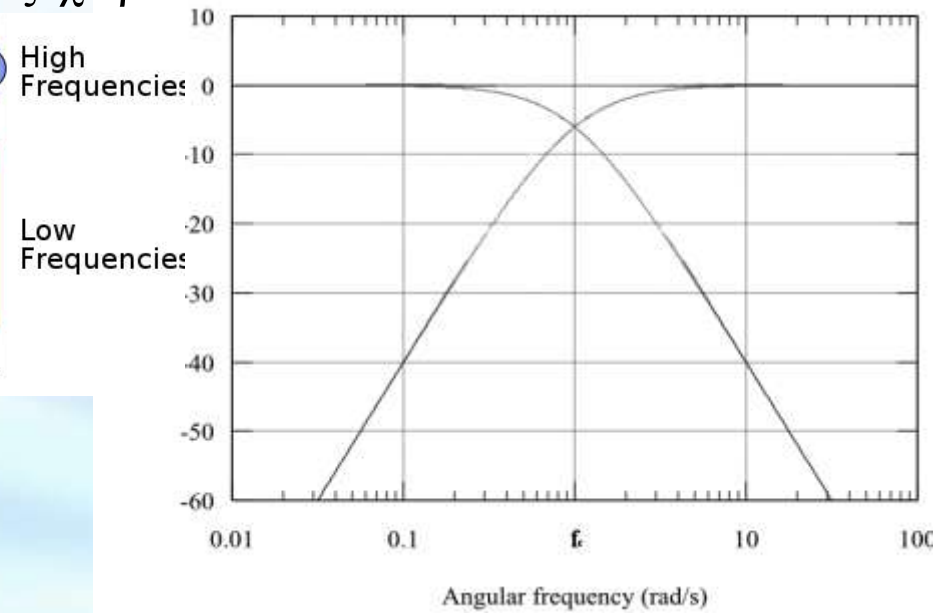
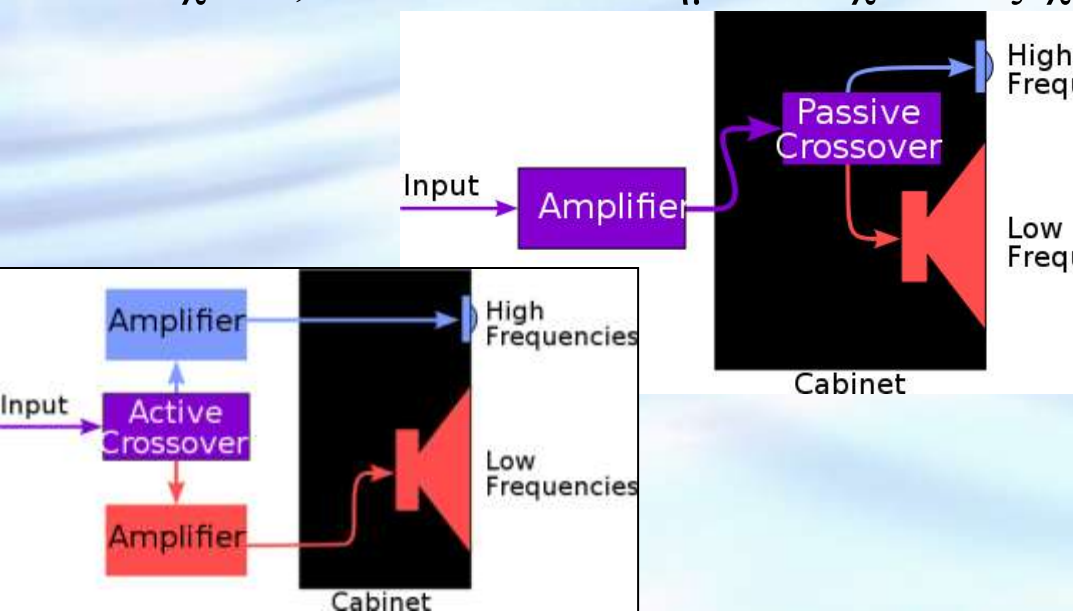
Τελικά βλέπουμε ότι $V_{out} = 0.25 \cdot V_{in} = 0.5 \text{ Volt}$.

- Αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας τη γνωστή ιδιότητα των λογαρίθμων βλέπουμε ότι για το σήμα συχνότητας 1500 Hz θα ισχύει $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{0.25} = 4$ και επομένως $V_{out} = 4 \text{ Volt}$.



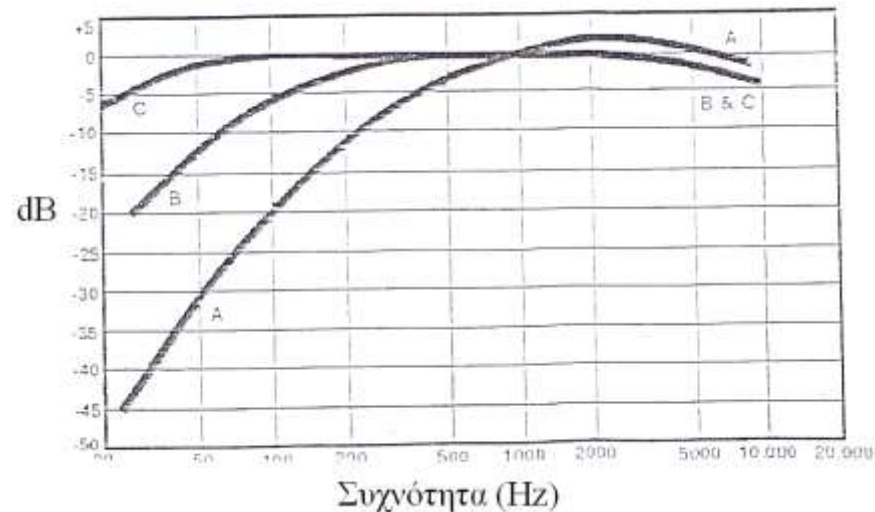
Κύκλωμα crossover στα ηχεία

- Η αναπαραγωγή διαφορετικών περιοχών συχνοτήτων γίνεται από διαφορετικά στοιχεία. Χαμηλές :Woofers, μεσαίες Mid-Range, υψηλές Tweeter.
- Για να γίνει «διαχωρισμός» των συχνοτήτων χρησιμοποιούνται διάφορα φίλτρα.
- Για γειτονικές περιοχές συχνοτήτων (Woofers – Mid Range) η συχνότητες που «συναντώνται» τα δύο φίλτρα ονομάζεται συχνότητα crossover f_c .
- Ένα κύκλωμα crossover διαχωρίζει το σήμα για να σταλεί ανάλογα σε διαφορετικά ηχεία και καθορίζει την απόκριση του κάθε φίλτρου έτσι ώστε να μην υπάρχει συχνοτικό κενό.
- Η υλοποίηση γίνεται είτε με παθητικό C/O όπου το κύκλωμα μπαίνει μετά τον ενισχυτή, είτε με ενεργητικό τρόπο όπου το κύκλωμα μπαίνει πριν το σήμα ενισχυθεί, οπότε το κάθε σήμα ενισχύεται ξεχωριστά



Φίλτρα A, B,C,D

- Λόγω της μεταβλητής ευαισθησίας της ανθρώπινης ακοής με την συχνότητα απαιτείται συχνά η χρήση φίλτρων που εξασθενούν ή ενισχύουν κάποιες περιοχές συχνοτήτων, προσομοιώνοντας έτσι τη χαρακτηριστική λειτουργία της ακοής. Τα φίλτρα αυτά είναι τα λεγόμενα A,B,C,D και χρησιμοποιούνται βασικά σε μετρήσεις με σκοπό την υποκειμενική αντίληψη ενός θορύβου.
- Στην ουσία είναι αντιστροφή των καμπυλών ίσης ηχηρότητας (πρώτο κεφάλαιο).
- Χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις βάρους A, B ,C,D πετυχαίνεται η κατάλληλη ζύγιση του προς μέτρηση θορύβου ώστε η στάθμη που θα υπολογιστεί να είναι αντιπροσωπευτική της μεταβλητής αυτής ευαισθησίας της ακοής.
- Ανάλογα με την καμπύλη βάρους που χρησιμοποιείται, η μέτρηση εκφράζεται σε μονάδες dB(A), dB(B) κτλ.



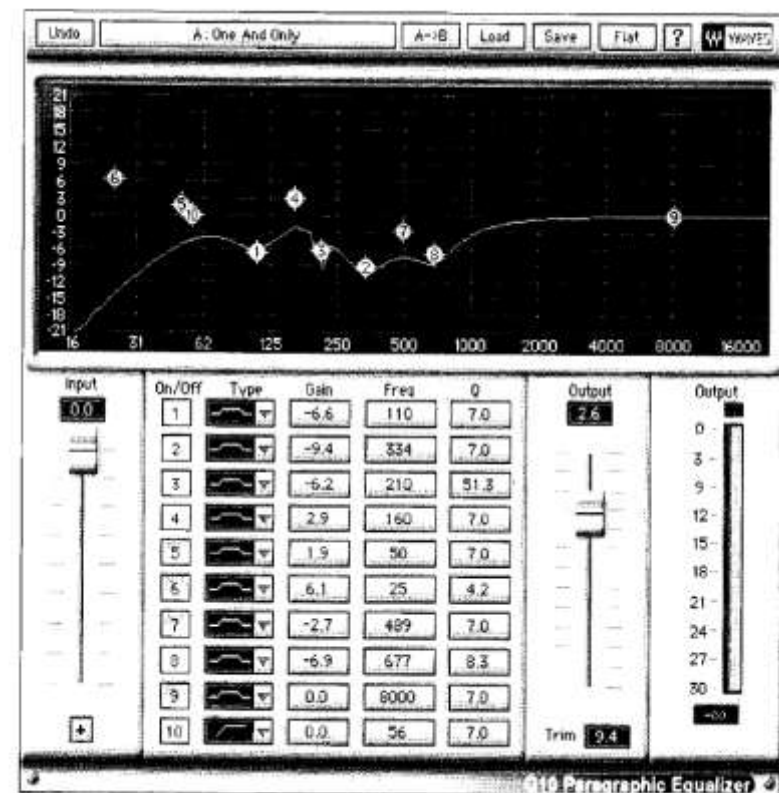
Πίνακας 3.2.1 Τιμές Συναρτήσεων βάρους A, B, C, D.

Συχνότητα (Hz)	Συνάρτηση A	Συνάρτηση B	Συνάρτηση C	Συνάρτηση D
10	-70.4			
12.5	-63.4			
16	-56.7			
20	-50.5			
25	-44.7	-20.4	-4.4	-18.5
31.5	-39.4	-17.1	-3	-16.5
40	-34.6	-14.2	-2	-14.5
50	-30.2	-11.6	-1.3	-12.5
63	-26.2	-9.3	-0.8	-11
80	-22.5	-7.4	-0.5	-9
100	-19.1	-5.6	-0.3	-7.5
125	-16.1	-4.2	-0.2	-6
160	-13.4	-3	-0.1	-4.5
200	-10.9	-2	0	-3
250	-8.9	-1.3	0	-2
315	-6.6	-0.8	0	-1
400	-4.8	-0.5	0	-0.5
500	-3.2	-0.3	0	0
630	-1.9	-0.1	0	0
800	-0.8	0	0	0
1000	0	0	0	0
1250	0.6	0	0	2
1600	1	0	-0.1	5.5
2000	1.2	-0.1	-0.2	8
2500	1.3	-0.2	-0.3	10
3150	1.2	-0.4	-0.5	11
4000	1	-0.7	-0.8	11
5000	0.5	-1.2	-1.3	10
6300	-0.1	-1.9	-2	8.5
8000	-1.1	-2.9	-3	6
10000	-2.5	-4.3	-4.4	3
12500	-4.3	-6.1	-6.2	0
16000	-6.6	-8.4	-8.5	-4
20000	-9.3	-11.1	-11.2	-7.5

Ο πίνακας αυτοί είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι όταν η μέτρηση γίνεται μέσω φίλτρων οκτάβας, τριτοοκτάβας, κ.ο.κ., και θέλουμε να υπολογίσουμε ή να μετατρέψουμε την μετρούμενη στάθμη σε dB(A), dB(B), dB(C), dB(D).

Ψηφιακά φίλτρα

- Τα διάφορα EQ που περιγράψαμε παραπάνω αφορούν αναλογικές συσκευές.
- Οι διεργασίες που παρουσιάστηκαν θα μπορούσαν να γίνουν και με ψηφιακά φίλτρα.
- Τα ψηφιακά φίλτρα έχουν το πλεονέκτημα το αρκετά μικρότερο κόστος κατασκευής και την δυνατότητα υλοποίησης φίλτρων με μεγάλο ρυθμό αποκοπής.
- Μειονέκτημα των διαφόρων ψηφιακών φίλτρων είναι η ενδεχομένως αυξημένη τάξη του φίλτρου, το οποίο δεν είναι πρόβλημα στους σύγχρονους επεξεργαστές



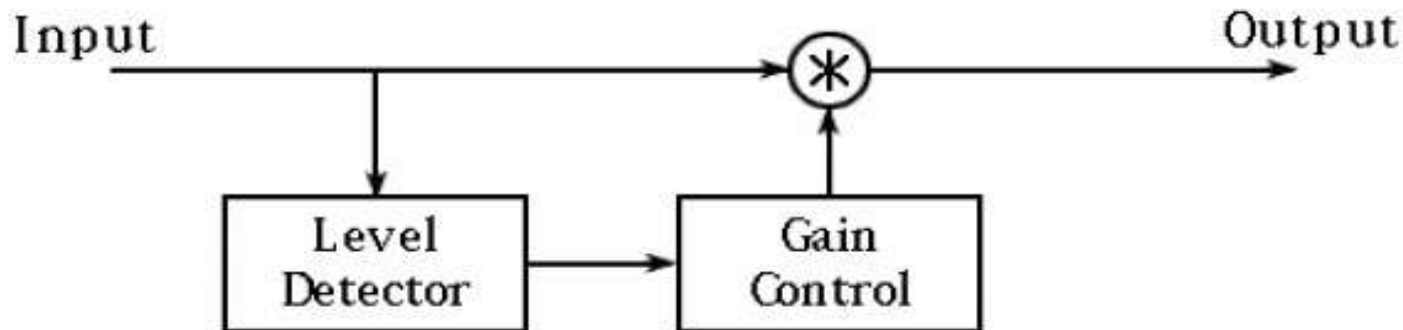
Επεξεργασία Ήχου Φωνής
8^η Διάλεξη

Δυναμική Επεξεργασία Σήματος

Δυναμική Επεξεργασία Σήματος

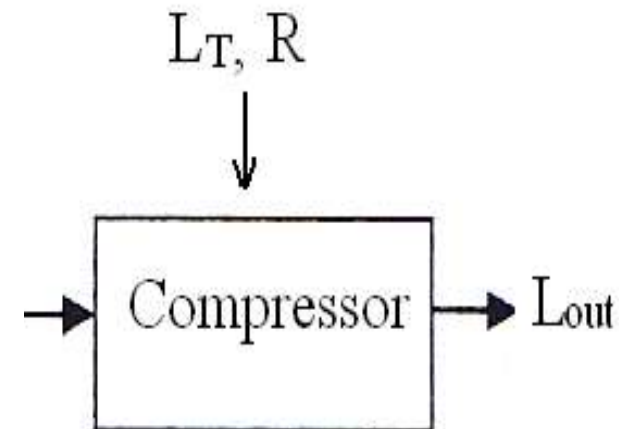
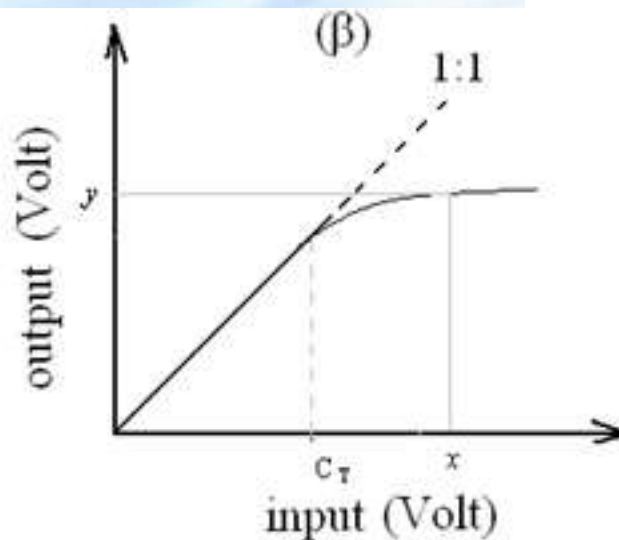
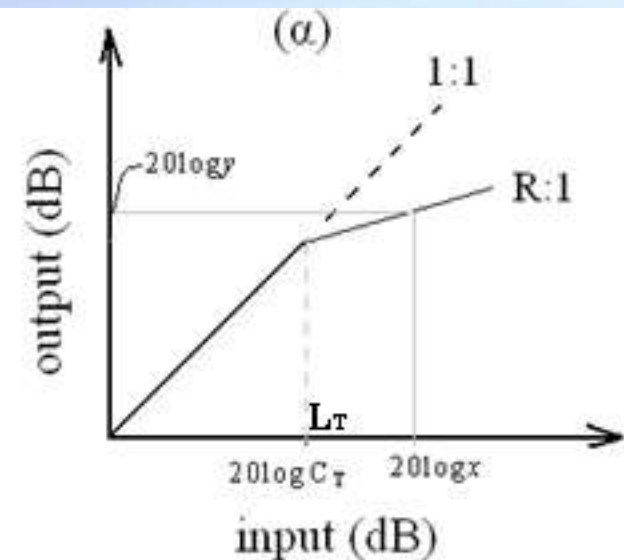
- Σε διάφορες εφαρμογές απαιτούνται μη γραμμικές σχέσεις εισόδου – εξόδου σήματος (πχ λογαριθμικές εξισώσεις) που επιτρέπουν τον επιλεκτικό έλεγχο της δυναμικής περιοχής του σήματος εισόδου, με συμπίεση, περιορισμό ή επέκταση του πλάτους του επεξεργασμένου σήματος πχ. στην αποθορυβοποίηση, στην προστασία από την υπεροδήγηση κυκλωμάτων (ενισχυτών).
- Μια αναπαράσταση της λειτουργίας των δυναμικών επεξεργαστών φαίνεται στο σχήμα όπου υπολογίζεται η στάθμη του σήματος εισόδου και υπολογίζεται η τιμή κέρδους $g(t)$ οπότε η τιμή εξόδου $y(t)$ μεταβάλλεται σε σχέση με την τιμή εισόδου $x(t)$.

$$y(t) = g(t) \cdot x(t)$$



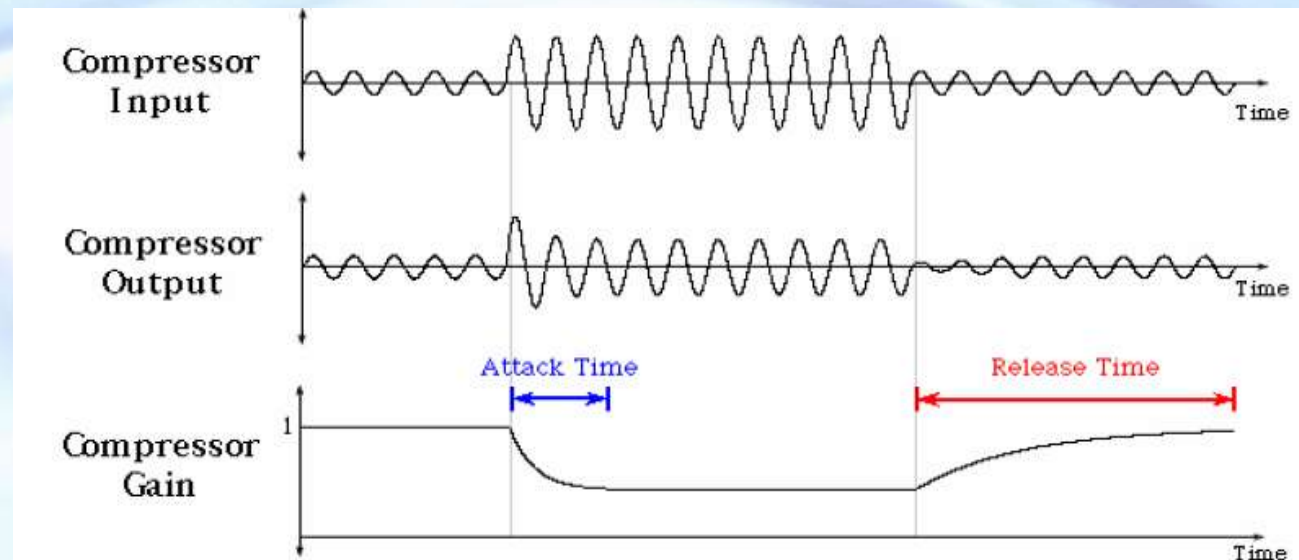
Συμπιεστής (Compressor)

- Ο συμπιεστής έχει ως σκοπό τον περιορισμό της δυναμικού εύρους του σήματος.
- Αν το σήμα σε dB ξεπεράσει μια τιμή κατωφλίου L_T τότε το σήμα επίπεδο του σήματος σε dB συμπιέζεται με λόγο R η τιμή του σήματος σε dB θα είναι $L_{out} = L_T + \frac{L_{in} - L_T}{R}$ με $L_T = 20 \log C_T$ μια σχηματική αναπαράσταση ενός συμπιεστή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Παράμετροι Συμπίεσης

- Για την μετάβαση του κέρδους από τις καταστάσεις γραμμικής/μη-γραμμικής επεξεργασίας, παρατηρείται ότι η αρχή (attack) και το τέλος (release) της μη-γραμμικής επεξεργασίας, εξομαλύνονται με τοπική εκθετική καμπύλη μετάβασης, όπως φαίνεται στο σχήμα
- Η παράμετρος του attack καθορίζει το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί, από τη στιγμή που η στάθμη του σήματος περάσει το κατώφλι συμπίεσης, μέχρι να ξεκινήσει η συμπίεση του σήματος.
- Η παράμετρος release καθορίζει το χρονικό διάστημα που θα περάσει μέχρι ο συμπιεστής να επιστρέψει στη γραμμική περιοχή λειτουργίας.
- Χρησιμοποιείται τόσο το μέγιστο του σήματος (peak detection) όσο και RMS (detection) τιμή του.

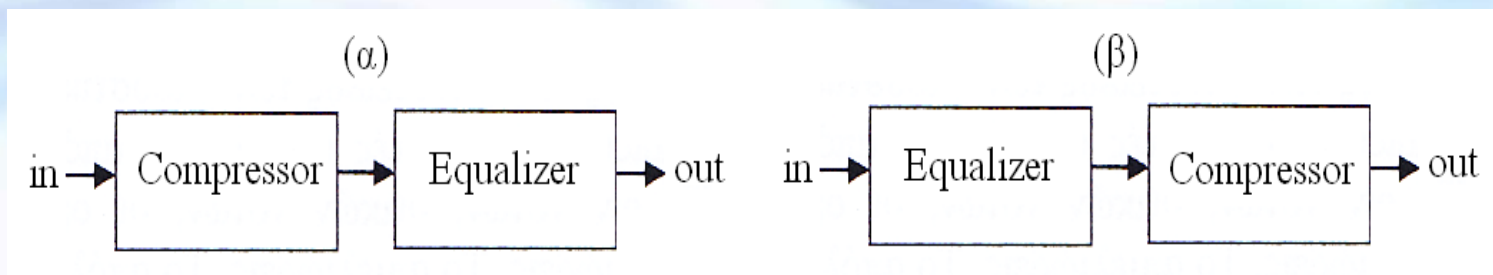


- **Παράδειγμα** Να βρεθεί η στάθμη εξόδου L_{out} ενός ηχητικού σήματος το οποίο εισέρχεται σε ένα συμπιεστή στα α) -16 dB και β) 0 dB. Για το συμπιεστή θεωρείστε κατώφλι συμπίεσης $L_T = -10$ dB και λόγο συμπίεσης $R = 5:1$.
- **Απάντηση: α)** Τα -16 dB είναι κάτω από το κατώφλι των -10 dB άρα δεν θα αλλάξει η στάθμη εξόδου και θα είναι -16 dB.
- **β)** Η στάθμη σήματος είναι 10 dB πάνω από το κατώφλι συμπίεσης άρα για $R = 5$ θα έχουμε $L_{out} = -10 + 10/5 = -8$ dB.
- **Παράδειγμα:** Έστω ότι ένα ηχητικό σήμα εισέρχεται σε ένα ηχητικό σύστημα στη μέγιστη επιτρεπόμενη νόμιμη στάθμη λειτουργίας των $L_0 = +4$ dB. Να βρεθεί το περιθώριο ενίσχυσης του σήματος σε dB που μπορεί να αποδώσει ένας κομπρέσορας που συνδέεται πριν το ηχητικό σύστημα με λόγο συμπίεσης $R = 4:1$ και κατώφλι συμπίεσης $L_T = -8$ dB.
- **Απάντηση:** Είναι προφανές ότι το ηχητικό σήμα περνώντας μέσα από τον συμπιεστή εξέρχεται με μειωμένο δυναμικό εύρος και άρα η στάθμη εισόδου στο ηχητικό σύστημα θα είναι μικρότερη από πριν. Συγκεκριμένα, αφού $L_T = -8$ dB η στάθμη εξόδου από τον κομπρέσορα θα είναι $L_{out} = -8 + \frac{4 - (-8)}{4} = -8 + 3 = -5$ dB. Αφού η στάθμη του σήματος κατά την είσοδο στο ηχητικό σύστημα επιτρέπεται να είναι έως τα $+4$ dB, το περιθώριο ενίσχυσης σε dB θα είναι ίσο με $Gain = +4 - (-5) = 9$ dB

- **Παράδειγμα:** Θεωρείστε ένα equalizer ρυθμισμένο να προσδίδει αποκοπή 6 dB στα 800 Hz και έναν RMS συμπιεστή με παραμέτρους $L_T = 0\text{dB}$ και $R = 4:1$. Υπολογίστε την RMS στάθμη (σε dB) με την οποία θα εξέρχεται ένα ημιτονικό σήμα συχνότητας 800 Hz και RMS τιμής 8dB από την σε σειρά συνδεσμολογία α) compressor – equalizer και β) equalizer – compressor. Τι παρατηρείται;

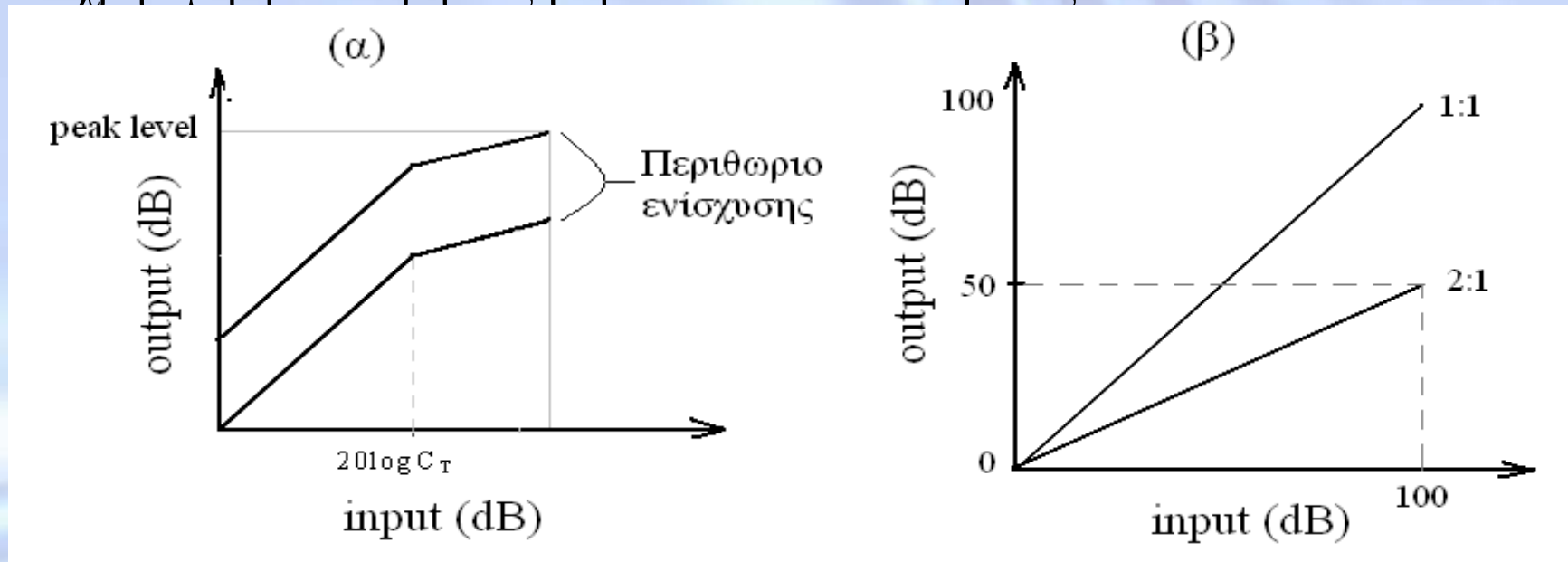
- **Απάντηση:**

- a) Η στάθμη με την οποία εξέρχεται το σήμα από τον συμπιεστή είναι $L_{out} = 0 + \frac{(8-0)}{4} = 2\text{dB}$. Περνώντας από το equalizer η στάθμη μειώνεται κατά 6 dB επομένως η στάθμη εξόδου στην πρώτη περίπτωση είναι $2-6 = -4\text{dB}$.
- b) Παρατηρούμε ότι το σήμα θα εξέρχεται στα $8-6 = 2\text{ dB}$ από το equalizer. Η στάθμη του σήματος από την έξοδο του συμπιεστή θα είναι εν τέλει $L_{out} = 0 + \frac{(2-0)}{4} = 0.5\text{dB}$. Παρατηρούμε ότι αλλάζοντας τη σειρά των μονάδων equalizer και compressor αλλάζει και η στάθμη εξόδου του σήματος. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στην μη γραμμική επεξεργασία που υπόκειται το σήμα από το δυναμικό επεξεργαστή. Περιμένουμε διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με το σε ποια θέση βάζουμε ένα δυναμικό επεξεργαστή σε μια αλυσίδα από ηχητικά εφφέ.



Αναγκαιότητα Συμπιεστών

- Η χρήση συμπιεστή γίνεται τόσο για αισθητικούς όσο και για πρακτικούς λόγους.
- Στη ροκ μουσική ο συμπιεστής χρησιμοποιείται για να γίνει ο ήχος πιο συμπαγής.
- Για ηχητικό σήμα φωνής ένας compressor είναι πολύτιμος.
- Μετά την συμπίεση το σήμα έχει περιορισμένη δυναμική περιοχή, και είναι εφικτή και χρήσιμη η σταθερή αύξηση του συνολικού κέρδους.



- Μέσω συμπιεστή ένα σήμα δύναται να μπορέσει να «χρησιμοποιηθεί» από συσκευή με μικρότερη δυναμική περιοχή π.χ σήμα δυναμικού εύρους 100 dB για να αποθηκευτεί σε κασετόφωνο με δυναμική περιοχή 50 dB πρέπει να δράσει συμπιεστής με $R=2:1$. Κατά την αναπαραγωγή του σήματος, για να αποκατασταθεί το αρχικό δυναμικό εύρος, χρησιμοποιείται expander

- Παράδειγμα:** Τι συντελεστή συμπίεσης όγκου δεδομένων μπορεί να παρέχει ένας συμπίεστης ψηφιακού σήματος με παραμέτρους $L_T = -24\text{dBFS}$ και $R=4:1$;

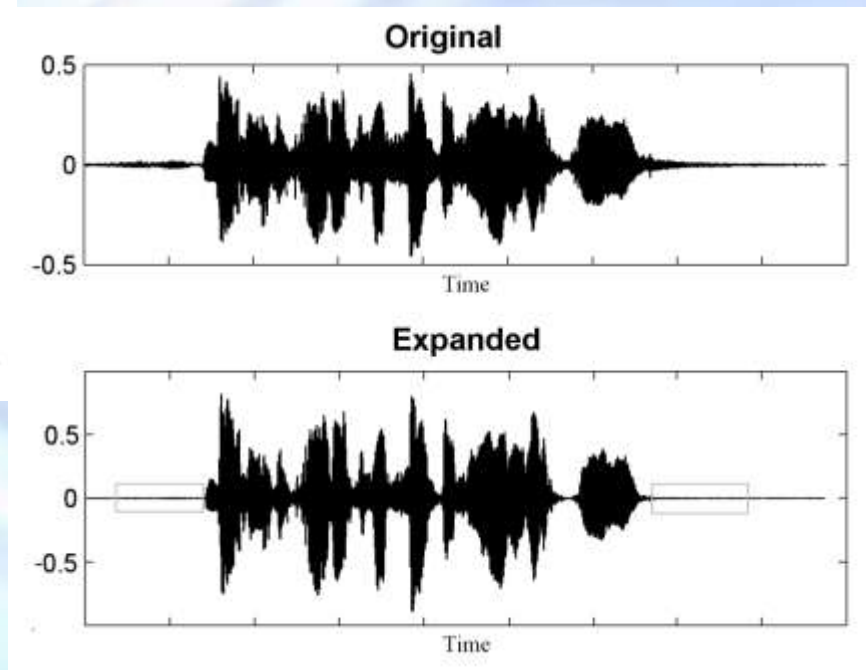
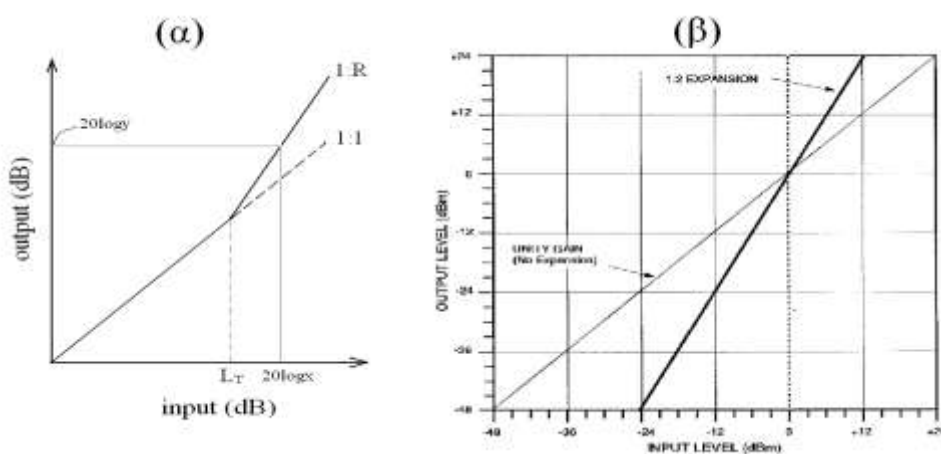
Θεωρείστε τάξη κβαντισμού 16 bit για το ψηφιακό σήμα και ότι το ψηφιακό σήμα πριν την είσοδο στον συμπίεστη καταλαμβάνει όλη τη διαθέσιμη δυναμική περιοχή. Επίσης, ο συμπίεστης λαμβάνει υπόψη peak στάθμες.
- Απάντηση:** Ένα ψηφιακό σήμα το οποίο διέρχεται μέσα από ένα τέτοιο συμπίεστη θα υποστεί περιορισμό του δυναμικού του εύρους. Έχουμε δει ότι η δυναμική περιοχή σχετίζεται άμεσα με την τάξη κβαντισμού, και επομένως καταλαβαίνουμε ότι αφού θα ελαττωθεί το δυναμικό εύρος του σήματος, θα χρειάζονται λιγότερα bits για τη μετάδοση ή αποθήκευσή του. Αφού το ηχητικό σήμα καταλαμβάνει όλη τη δυναμική περιοχή σημαίνει ότι κάποιες χρονικές στιγμές τα πλάτη του αγγίζουν τα 0 dBFS. Κατά την έξοδο λοιπόν από το συμπίεστη, τα μέγιστα πλάτη του σήματος δε θα υπερβαίνουν τα $L_{out} = -24 + \frac{0 - (-24)}{4} = -24 + 6 = -18\text{dBFS}$
- Γνωρίζουμε όμως από προηγούμενο κεφάλαιο ότι κάθε επιπλέον bit αντιστοιχεί σε 6 dB δυναμικής περιοχής. Αυτό σημαίνει ότι χρειαζόμαστε $18:6=3$ bit λιγότερα για την μετάδοση ή αποθήκευση του σήματος, επομένως, $16-3=13$ bit επαρκούν. Ο λόγος συμπίεσης όγκου δεδομένων θα είναι επομένως $\frac{N}{N'} = \frac{16}{13} = 1,23$ (ή $R=1.23:1$).

Expander

- Ένας expander κάνει το αντίθετο από ότι ένας compressor: οδηγεί σε επέκταση του δυναμικού εύρους του σήματος. Συνήθως πάνω από το κατώφλι επέκτασης (L_T) και κάποιο λόγο επέκτασης $1:R$. Η στάθμη εξόδου για ένα Expander είναι

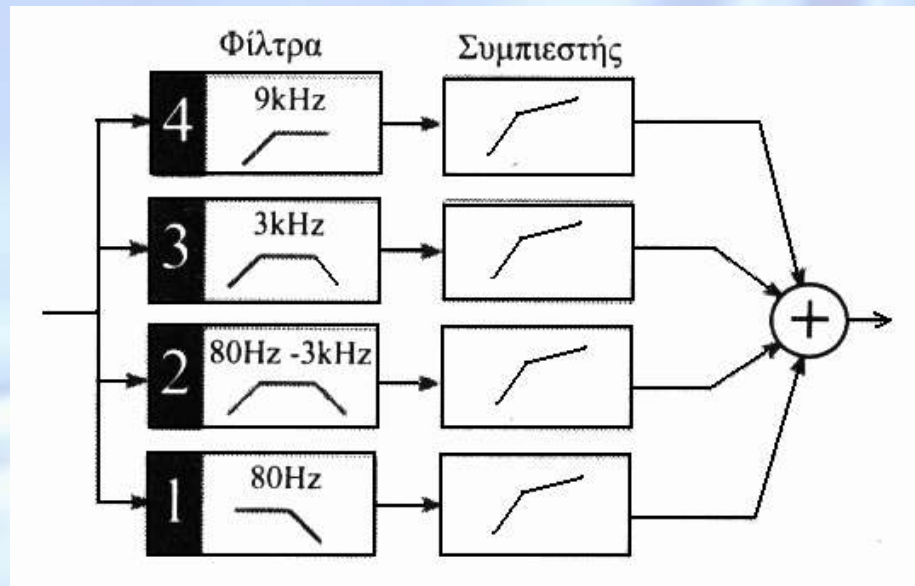
$$L_{out} = L_T + (L_{in} - L_T) \cdot R$$

- Υπάρχει η δυνατότητα να έχουμε επίδραση σ' όλο το δυναμικό εύρος (β), (όπου οι υψηλές στάθμες ενισχύονται ενώ οι χαμηλές υποβαθμίζονται), ή πάνω από ένα $L_T(\alpha)$. Στην πρώτη περίπτωση ο expander λειτουργεί σαν αποθορυβοποιητής.



Multi-band compressor

- Κατά την δυναμική επεξεργασία ενός ηχητικού σήματος θα θέλαμε πιθανόν να επέμβουμε σε κάποιες συγκεκριμένες συχνοτικές περιοχές, αφήνοντας ανεπηρέαστες κάποιες άλλες. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε ζωνοπερατό φίλτρο και στην συνέχεια αντίστοιχος συμπιεστής. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η υλοποίηση τέτοιων συμπιεστών.



Noise Gates

- Διατάξεις που επιτρέπουν στο σήμα να διέλθει μόνο είναι μεγαλύτερο από κάποια καθορισμένη στάθμη L_T , σε αντίθετη περίπτωση δεν αφήνει να περάσει σήμα, με το σκεπτικό ότι θα κόψει ανεπιθύμητους θορύβους.
- Για παράδειγμα σε μια μπάντα με πολλά όργανα και ένα μικρόφωνο σε κάθε όργανο θα είχαμε παρεμβολές στο σήμα του κάθε οργάνου από τα άλλα όμως το σήμα τους είναι αρκετά μικρότερο άρα αν επιτρέπονταν η μεταφορά σήματος μόνο όταν αυτό ήταν μεγαλύτερο από μια συγκεκριμένη τιμή τότε όλα τα άλλα όργανα θα κόβονταν και θα ήταν επιτρεπτή μόνο η διέλευση του σήματος από το συγκεκριμένο όργανο.
- Η χαρακτηριστική εισόδου εξόδου για μια noise gate φαίνεται στο σχήμα

