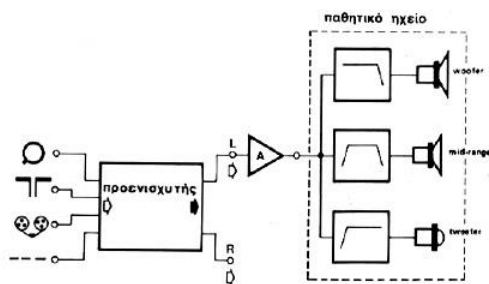


## ΕΝΕΡΓΟ CROSSOVER 3 ΔΡΟΜΩΝ

Μια απ' τις πρώτες ερωτήσεις που πρέπει ν' απαντήσει κανείς όταν αρχίσει ν' ασχολείται μ' ένα νέο σύστημα ηχείων είναι το είδος των φίλτρων κατανομής συχνοτήτων (crossover) που πρέπει να χρησιμοποιηθεί και αυτό γιατί υπάρχουν δύο κατηγορίες φίλτρων. Τα παθητικά και τα ενεργά. Από ηχητική άποψη, σταθμίζοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δύο τύπων, υπερτερούν φανερά τα ενεργά ενώ από οικονομική άποψη τα παθητικά φίλτρα είναι σαφώς φθηνότερα.

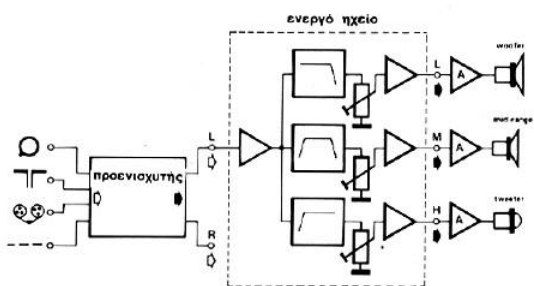
Στα ηλεκτρονικά, ένα κύκλωμα καλείται «ενεργό» αν εκτός από τα παθητικά στοιχεία αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία περιέχει και ένα ενισχυτικό στοιχείο. Καταλαβαίνουμε λοιπόν τι σημαίνει «ενεργό κύκλωμα» αλλά ο όρος «ενεργό ηχείο» ίσως χρειάζεται περισσότερες εξηγήσεις. Ένα ηχείο, που αποτελείται από το κουτί και τα μεγάφωνα, είναι πάντα «παθητικό» κύκλωμα, αν θέλουμε να κυριολεκτήσουμε, εκτός βέβαια αν υπάρχει κάποια μηχανική ανάδραση. Πάντως, όταν ένα ηχείο διαθέτει ενεργό δικτύωμα κατανομής συχνοτήτων χαρακτηρίζεται σαν «ενεργό ηχείο». Κατά ένα μέρος, ο χαρακτηρισμός αυτός οφείλεται στην ύπαρξη ενισχυτών, συνήθως ενσωματωμένων στο ηχείο.

Οι διαφορές ανάμεσα στο ενεργά και τα παθητικά συστήματα ηχείων παριστάνονται



με την βοήθεια των διπλανών διαγραμμάτων

Στο παθητικό σύστημα (επάνω), το σήμα εξόδου του προενισχυτή περνάει στον ενισχυτή ισχύος και τέλος στο ηχείο. Η κατανομή των συχνοτήτων στα μεγάφωνα χαμηλών-μεσαίων-υψηλών (woofer, mid-range, tweeter), γίνεται με παθητικά δικτυώματα πυκνωτών και πηνίων.



Το ενεργό σύστημα (κάτω), λειτουργεί κάπως διαφορετικά. Μια φανερή διαφορά είναι ότι τα φίλτρα κατανομής συχνοτήτων συνδέονται αμέσως μετά τον προενισχυτή. Το αποτέλεσμα είναι ότι κάθε φίλτρο περιοχής πρέπει ν' ακολουθείται από έναν ξεχωριστό ενισχυτή ισχύος, οπότε χρειάζονται τρεις τελικοί ενισχυτές σε κάθε κανάλι.

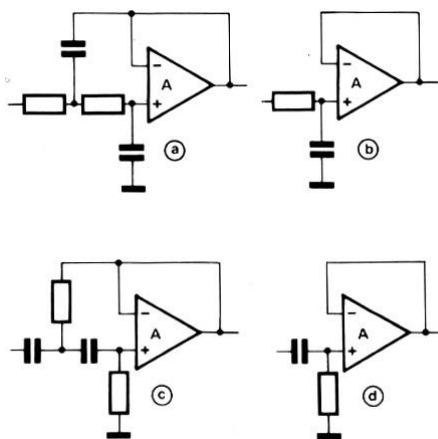
Έτσι το ενεργό σύστημα είναι ακριβότερο από το αντίστοιχο παθητικό.

### Ενεργό ή παθητικό;

Στο ερώτημα ποιο είναι οριστικά καλύτερο, το ενεργό ή το παθητικό ηχείο, δεν υπάρχει απόλυτη απάντηση. Το ενεργό σύστημα έχει περισσότερα υπέρ παρά κατά, αλλά τούτο δεν το κάνει υποχρεωτικά την καλύτερη επιλογή για τον καθένα. Βασικά, το ενεργό σύστημα είναι πιο περίπλοκο, ογκωδέστερο και ακριβότερο από το ισοδύναμο παθητικό, αλλά αυτά είναι και τα μόνα του μειονεκτήματα. Υπάρχουν μερικά παθητικά ηχεία με όντως άψογο ήχο, ακριβώς όπως υπάρχουν και ενεργά ηχεία με μετριότατες επιδόσεις. Γενικά όμως το ενεργό ηχείο είναι προτιμότερο. Τα πλεονεκτήματά του είναι:

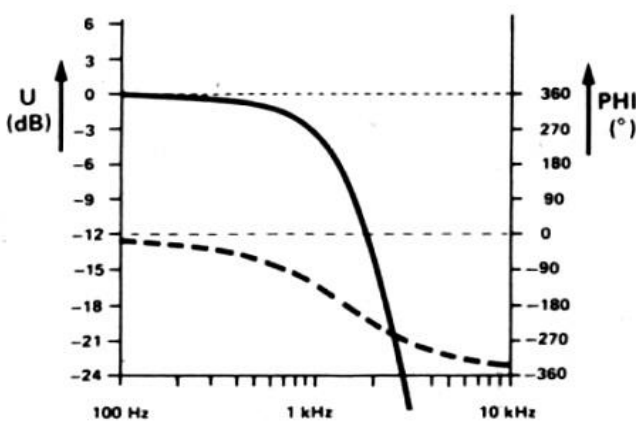
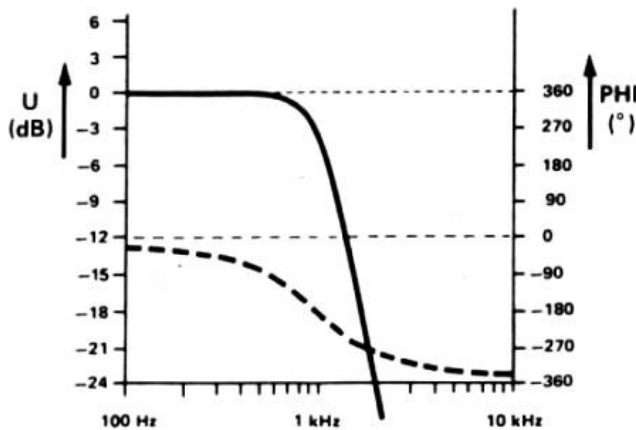
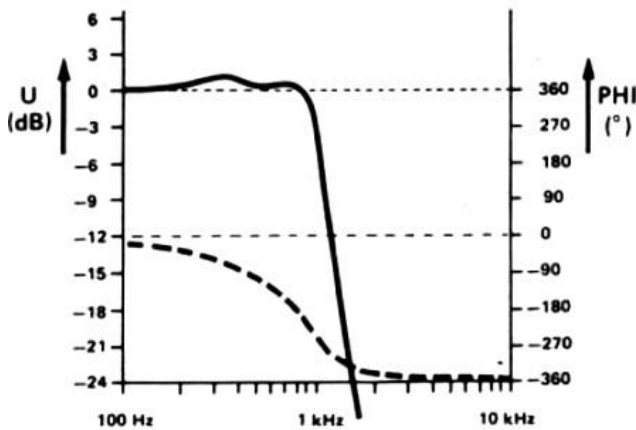
- Πολύ εύκολη η προσαρμογή διαφορετικών μεγαφώνων, αφού το πλάτος του επιβαλλόμενου σ' αυτά σήματος ρυθμίζεται εύκολα και με ακρίβεια στην είσοδο κάθε ξεχωριστού τελικού ενισχυτή. Στα παθητικά συστήματα, η προσαρμογή συνεπάγεται την παρεμβολή ρυθμιστικών αντιστάσεων στα φίλτρα. Για τα μεγάφωνα μεσαίων και υψηλών συχνοτήτων δεν υπάρχει πρόβλημα, αλλά η παρεμβολή αντίστασης σε σειρά με το μεγάφωνο χαμηλών (woofer) επηρεάζει δυσμενώς τον συντελεστή απόσβεσης μεταβάλλοντας τον συντελεστή ποιότητας του μεγαφώνου. Μια εναλλακτική λύση θα ήταν η χρήση μετασχηματιστών με ρυθμιζόμενο δευτερεύον. Οι μετασχηματιστές όμως είναι αντιοικονομικοί, αναγκαστικά ογκώδεις και δεν μπορούν ν' αξιοποιήσουν ικανοποιητικά ένα καλό μεγάφωνο χαμηλών σ' ένα παθητικό ηχείο τριών δρόμων.
- Τα μεγάφωνα συνδέονται απ' ευθείας στις εξόδους των τελικών ενισχυτών, χωρίς τα μεγάλα πηνία που υπάρχουν στα παθητικά δικτυώματα. Έτσι, ο συντελεστής απόσβεσης είναι οπωσδήποτε καλύτερος. Τούτο συνεπάγεται την πιστότερη αναπαραγωγή, που είναι ιδιαίτερα αντιληπτή στις χαμηλές συχνότητες. Ίσως αυτό να είναι και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των ενεργών ηχείων.
- Η μεταβολή της χαρακτηριστικής αντίστασης των μεγαφώνων με την συχνότητα, δεν επηρεάζει το ενεργό δικτύωμα κατανομής συχνοτήτων, όπως συμβαίνει στα παθητικά δικτυώματα. Άρα το ενεργό δικτύωμα κατανομής λειτουργεί ακριβώς εκεί που υπολογίστηκε, χωρίς την ανάγκη άλλων διορθωτικών δικτυωμάτων προσαρμογής. Χωρίς τα διάφορα πηνία και πυκνωτές στην έξοδο του τελικού ενισχυτή, το φορτίο του πλησιάζει περισσότερο προς την ωμική συμπεριφορά, με επακόλουθο την καλύτερη αναπαραγωγή του ήχου.
- Οι τελικοί ενισχυτές του ενεργού δικτυώματος είναι συνήθως πολύ κοντά στα μεγάφωνα (τυπικά μέσα στο ηχείο), οπότε, ιδιαίτερα αν η ισχύς εξόδου είναι μεγάλη, δεν χρειάζονται ακριβή καλώδια σύνδεσης των μεγαφώνων με τους αντίστοιχους τελικούς ενισχυτές.

### Βασικά κυκλώματα



Σήμερα, χάρις στην ύπαρξη πολύ καλών τελεστικών ενισχυτών χαμηλού θορύβου, η πραγματοποίηση των ενεργών φίλτρων κατανομής συχνοτήτων είναι πολύ εύκολη. Ουσιαστικά είναι θέμα εκλογής των επιθυμητών χαρακτηριστικών και συναρμολόγησης. Τα φίλτρα μπορούν να γίνουν σύμφωνα με κάποιο από τα υπάρχοντα τυποποιημένα είδη. Το διπλανό σχήμα δείχνει τα βασικά φίλτρα που σχηματίζουν τελικά το δικτύωμα κατανομής που περιγράφεται. Συνδυάζοντας αυτά τα βασικά κυκλώματα μπορεί να κατασκευαστεί οποιοδήποτε είδος φίλτρου κατανομής συχνοτήτων.

Τα δύο επάνω κυκλώματα α και β είναι φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων. Τα κάτω κυκλώματα, γ και δ είναι φίλτρα διέλευσης υψηλών. Τα κυκλώματα α και γ περιέχουν από δυο τμήματα RC το καθένα, γι αυτό και λέγονται φίλτρα δευτέρου βαθμού. Η χαρακτηριστική τους έχει κλίση, μετά την καμπή 12db/οκτάβα (6db ανά τμήμα). Τα κυκλώματα β και δ είναι φίλτρα πρώτου βαθμού, με ένα μοναδικό τμήμα RC και κλίση χαρακτηριστικής 6db/οκτάβα. Συνδέοντας σε σειρά τα α και β (ή γ) σε σειρά σχηματίζεται φίλτρο τετάρτου βαθμού, με κλίση 24db/οκτάβα. Όταν συνδέονται φίλτρα σε σειρά, η επιλογή των εξαρτημάτων τους χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Η εξασθένηση που εισάγει το κάθε φίλτρο δεν είναι ο μοναδικός σημαντικός παράγοντας. Για τις ακουστικές εφαρμογές υπάρχουν και μερικά άλλα ενδιαφέροντα κριτήρια, όπως είναι το ακριβές σχήμα της



χαρακτηριστικής, η συμπεριφορά στην ζώνη διέλευσης και η μετατόπιση φάσης. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν ν' αλλάξουν μέσα σε ορισμένο όρια, επιλέγοντας προσεκτικά τις τιμές των εξαρτημάτων. Τούτο είναι πολύ ενδιαφέρον και σημαίνει ότι δεν χρειάζεται ν' αλλάξει η μορφή του κυκλώματος για ν' αλλάξει και η συμπεριφορά του φίλτρου.

Τα τρία πιο κοινά είδη φίλτρων είναι το Chebychev, το Butterworth και το Bessel. Κανένα απ' αυτά δεν πλησιάζει τα χαρακτηριστικά του «ιδανικού» φίλτρου, δηλαδή:

- σταθερή ενίσχυση και γραμμική μετατόπιση φάσης στη ζώνη διέλευσης,
- πολύ απότομη κλίση μετά την καμπή και μηδενική πιθανότητα ανεπιθύμητων ταλαντώσεων.

Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά δεν μπορούν να συνδυαστούν σ' ένα φίλτρο. Έτσι το σωστό φίλτρο για κάθε εφαρμογή επιλέγεται με κριτήριο το πιο σημαντικό κάθε φορά χαρακτηριστικό του.

Τα τρία διπλανά διαγράμματα δείχνουν τα χαρακτηριστικά των φίλτρων (από πάνω προς τα κάτω) Chebycher, Butterworth και Bessel.

Σε κάθε περίπτωση, τα φίλτρα είναι τέταρτου βαθμού διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων και συχνότητα αποκοπής 1kHz. Η συνεχής γραμμή

είναι η καμπύλη του πλάτους (χαρακτηριστική της συχνότητας), ενώ η διακοπτόμενη γραμμή είναι η μετατόπιση φάσης.

Όταν ενδιαφερόμαστε κυρίως για πολύ απότομη κλίση, το κατάλληλο φίλτρο είναι προφανώς το Chebyshev (πάνω). Η απολαβή στην περιοχή διέλευσης δεν είναι πολύ σταθερή, ενώ η μετατόπιση φάσης είναι σημαντικά μη γραμμική.

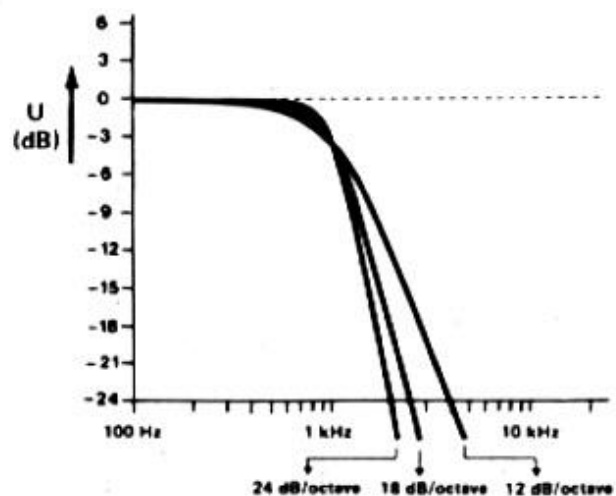
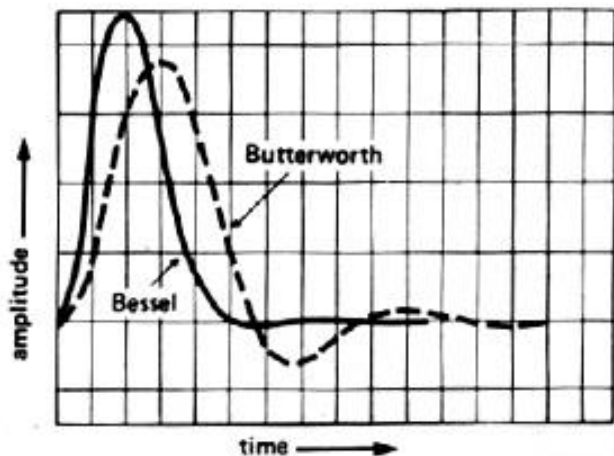
Αυτά τα δύο χαρακτηριστικά βελτιώνονται κατά πολύ στο φίλτρο Butterworth (μεσαίο), ενώ το φίλτρο Bessel (κάτω) παρουσιάζει μια ομαλότερη καμπύλη φάσης, θυσιάζοντας ένα ποσοστό της κλίσης μετά την καμπή, που είναι λιγότερο απότομη.

Στα δικτυώματα κατανομής συχνότητας χρησιμοποιούνται συνηθέστερα τα φίλτρα Butterworth και Bessel πολύ συχνά επιλέγεται το Butterworth που έχει καλύτερη χαρακτηριστική συχνότητας.

Στην αναπαραγωγή της μουσικής ένα πολύ ενδιαφέρον χαρακτηριστικό είναι η απόκριση σε σήμα παλμού.

Στο παρακάτω διάγραμμα (επάνω) βλέπουμε ότι η χαρακτηριστική του φίλτρου Bessel είναι η καλύτερη απ' τις δυο και επίσης έχει λιγότερες δευτερογενείς ταλαντώσεις. Δεν παραθέτουμε καθόλου εδώ τη χαρακτηριστική του φίλτρου Chebyshev επειδή είναι πολύ χειρότερη από ης άλλες δύο.

Στο διάγραμμα (κάτω) φαίνεται η κλίση ενός φίλτρου με ρυθμό 12, 18 και 24 dB/οκτάβα.

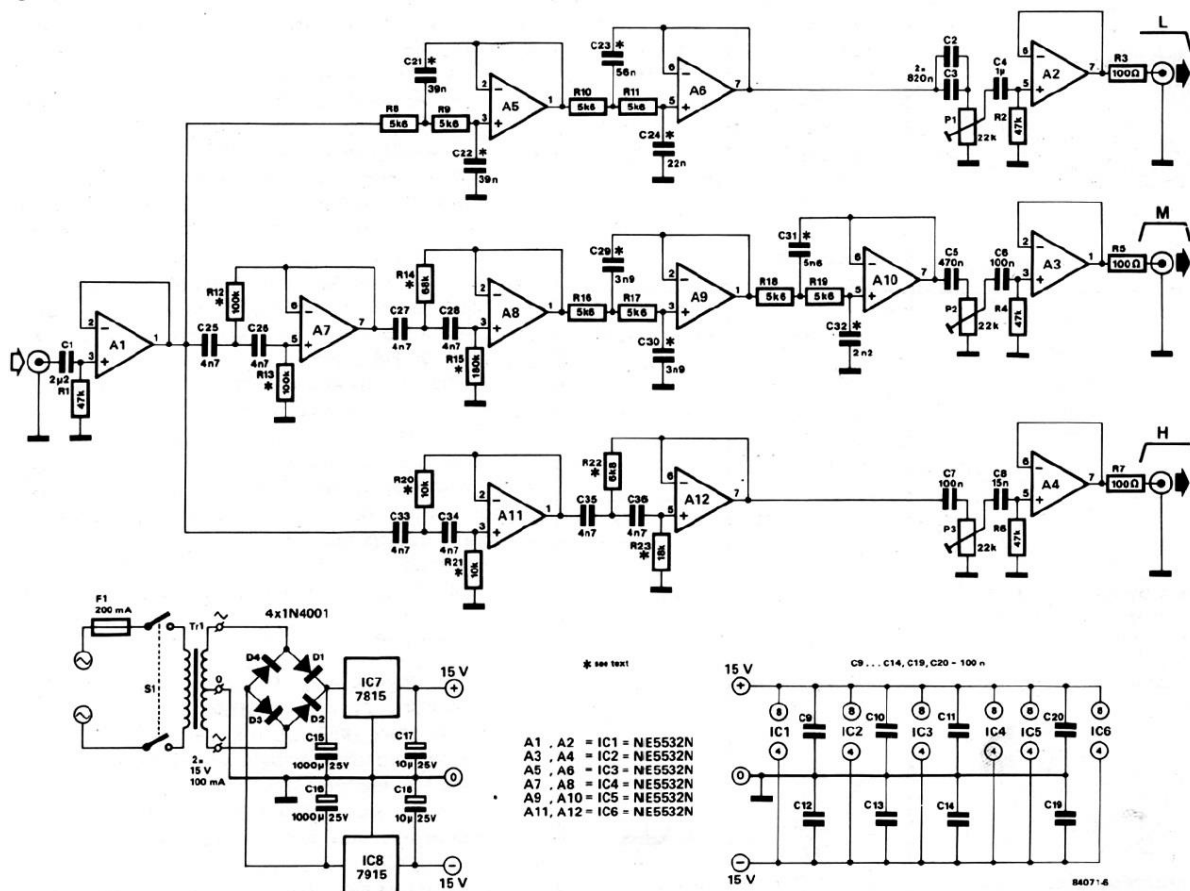


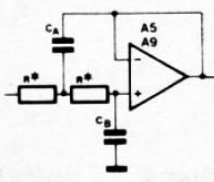
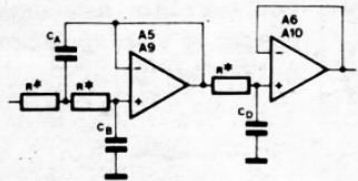
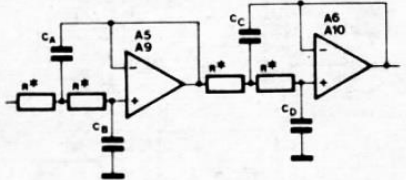
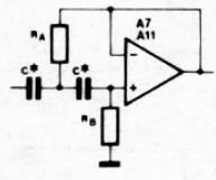
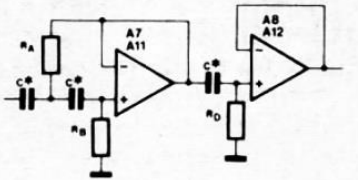
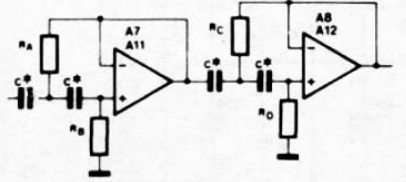
### Το πλήρες φίλτρο κατανομής συχνοτήτων

Έχοντας ήδη αναφερθεί στην βασική θεωρία του φίλτρου, ερχόμαστε τώρα στην περιγραφή της τελικής μορφής του φίλτρου. Το παρακάτω σχήμα δείχνει το δικτύωμα του φίλτρου για το ένα κανάλι. Στην κάτω αριστερή πλευρά του σχήματος υπάρχει το τροφοδοτικό κλασικής σχεδίασης. Βλέπουμε επίσης τον απομονωτή εισόδου A1 και τρεις απομονωτές εξόδου, τους A2, A3 και A4. Οι στάθμες εξόδου ρυθμίζονται μέσω των P1 (low) P2 (mid) και P3 (high). Η είσοδος του A1 έρχεται απ' ευθείας από τον προενισχυτή και οι εξοδοί των A2, A3, A4 οδηγούν κατ' ευθείαν τους τελικούς ενισχυτές.

Το πραγματικό φίλτρο βασίζεται στους A5...A12 και σχηματίζει ένα σύστημα τριών δρόμων με φίλτρα τετάρτου βαθμού. Με τις υπάρχουσες τιμές εξαρτημάτων οι συχνότητες αποκοπής είναι 500 και 5000 Hz. Τα τρία τμήματα του φίλτρου διακρίνονται άμεσα:

Οι A5 και A6 καθορίζουν την συχνότητα αποκοπής για το μεγάφωνο χαμηλών (εδώ 500 Hz), οι A11 και A12 αποκόπτουν όλες τις χαμηλές και τις μεσαίες συχνότητες (εδώ κάτω από 5000 Hz) προς το μεγάφωνο υψηλών, ενώ η μεσαία περιοχή περνά στο αντίστοιχο μεγάφωνο με τη συνδυασμένη δράση του υπερβατικού φίλτρου A7/A8 και του βαθυπερατού A9/A10. Το δικτύωμα κατανομής δεν πρέπει υποχρεωτικά να είναι τριών δρόμων. Μπορεί να σχηματιστεί δικτύωμα δύο δρόμων παραλείποντας το φίλτρο διέλευσης ζώνης A7...A10 και τον απομονωτή A3. Το ίδιο ισχύει και για την κλίση της χαρακτηριστικής. Όλα τα τμήματα παρουσιάζουν κατ' αρχήν κλίση 24db/οκτάβα, αλλά εύκολα η κλίση μπορεί να γίνει 18db/οκτάβα ή 12db/οκτάβα. Αυτό γίνεται με την παράλειψη μερικών εξαρτημάτων ή την αντικατάστασή τους με βραχυκυκλώματα.



Πίνακας 1	Bessel	Butterworth	Όλοι οι πυκνωτές έχουν την ίδια τιμή, από 4,7... 10nF
 <p>βαθμπερατό 12db/οκτάβα</p>	$C_A = \frac{0.9076}{2\pi f \cdot R}$ $C_B = \frac{0.6809}{2\pi f \cdot R}$	$C_A = \frac{1.414}{2\pi f \cdot R}$ $C_B = \frac{0.7071}{2\pi f \cdot R}$	
 <p>βαθμπερατό 18db/οκτάβα</p>	$C_A = \frac{0.9548}{2\pi f \cdot R}$ $C_B = \frac{0.4998}{2\pi f \cdot R}$ $C_D = \frac{0.7560}{2\pi f \cdot R}$	$C_A = \frac{2}{2\pi f \cdot R}$ $C_B = \frac{0.5}{2\pi f \cdot R}$ $C_D = \frac{1}{2\pi f \cdot R}$	
 <p>βαθμπερατό 24db/οκτάβα</p>	$C_A = \frac{0.7298}{2\pi f \cdot R}$ $C_B = \frac{0.6699}{2\pi f \cdot R}$ $C_C = \frac{1.0046}{2\pi f \cdot R}$ $C_D = \frac{0.3872}{2\pi f \cdot R}$	$C_A = \frac{1.0824}{2\pi f \cdot R}$ $C_B = \frac{0.9239}{2\pi f \cdot R}$ $C_C = \frac{2.6130}{2\pi f \cdot R}$ $C_D = \frac{0.3827}{2\pi f \cdot R}$	
 <p>υψιπερατό 12db/οκτάβα</p>	$R_A = \frac{1.1017}{2\pi f \cdot C}$ $R_B = \frac{1.4688}{2\pi f \cdot C}$	$R_A = \frac{0.7071}{2\pi f \cdot C}$ $R_B = \frac{1.414}{2\pi f \cdot C}$	
 <p>υψιπερατό 18db/οκτάβα</p>	$R_A = \frac{1.0474}{2\pi f \cdot C}$ $R_B = \frac{2.0008}{2\pi f \cdot C}$ $R_D = \frac{1.3228}{2\pi f \cdot C}$	$R_A = \frac{0.5}{2\pi f \cdot C}$ $R_B = \frac{2}{2\pi f \cdot C}$ $R_D = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$	
 <p>υψιπερατό 24db/οκτάβα</p>	$R_A = \frac{1.3701}{2\pi f \cdot C}$ $R_B = \frac{1.4929}{2\pi f \cdot C}$ $R_C = \frac{0.9952}{2\pi f \cdot C}$ $R_D = \frac{2.5830}{2\pi f \cdot C}$	$R_A = \frac{0.9239}{2\pi f \cdot C}$ $R_B = \frac{1.0824}{2\pi f \cdot C}$ $R_C = \frac{0.3827}{2\pi f \cdot C}$ $R_D = \frac{2.6130}{2\pi f \cdot C}$	

## Καθορισμός των τιμών των εξαρτημάτων

Αρχίστε από τον πίνακα, που δίνει το τυπολόγιο για όλα τα εξαρτήματα καθορισμού συχνοτήτων. Το πρώτο πράμα που πρέπει να αποφασίσετε είναι η κλίση της χαρακτηριστικής του φίλτρου σας. Αν επιλέξετε φίλτρο με κλίση 24db/οκτάβα, όλα τα υπόλοιπα είναι πολύ εύκολα, αφού το κύκλωμα παραμένει ως έχει.

Στο βαθυπερατό φίλτρο, οι C21, C22, C23 και C24 αντιστοιχούν στους CA, CB, CC και CD του πίνακα.

Για το βαθυπερατό φίλτρο του φίλτρου διέλευσης ζώνης των μεσαίων συχνοτήτων, οι αντίστοιχοι πυκνωτές είναι οι C29, C30, C32. Για κλίση 18db/οκταβα οι πυκνωτές C23 και C31 των βαθυπερατών φίλτρων αφαιρούνται και οι αντιστάσεις R10 και R18 αντικαθίστανται με γεφυρώματα σύρματος. Όμοια οι R14 και R22 των υψιπερατών φίλτρων αφαιρούνται και οι πυκνωτές C27 και C33 αντικαθίστανται με γεφυρώματα σύρματος, επίσης.

Αν η απαιτούμενη κλίση είναι 12db/οκτάβα αφαιρείται ολόκληρο το δεύτερο τμήμα κάθε φίλτρου και οι τελεστικοί ενισχυτές λειτουργούν απλά σαν απομονωτές. Σ' αυτήν την περίπτωση, οι C23, C24, C31 και C32 (των βαθυπερατών φίλτρων) καθώς και οι R14, R15, R22 και R23 (των υψιπερατών) αφαιρούνται, ενώ οι αντιστάσεις R10, R11, R18 και R19 και οι πυκνωτές C27, C28...C35 και C36 αντικαθίστανται από γεφυρώματα σύρματος.

Στον παραπάνω πίνακα τα εξαρτήματα έχουν τους ίδιους χαρακτηρισμούς: Οι C21...C24 και C29...C32 αντιστοιχούν στους CA...CD και οι R12...R15 και R20...R23 είναι οι RA... RD.

Αν χρησιμοποιήσετε αντιστάσεις με τιμές της σειράς E12 τα φίλτρα αποκλίνουν περισσότερο από το ιδανικό γι' αυτό καλύτερα να χρησιμοποιήσετε τιμές της σειράς E24.

## Κατασκευή

Η κατασκευή του φίλτρου αυτού ανάγεται ουσιαστικά στην τοποθέτηση των σωστών εξαρτημάτων, όπως αυτά έχουν καθοριστεί και επιλεγεί ανάλογα με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του φίλτρου, στην πλακέτα του σχήματος στο τέλος του άρθρου. Για κλίση 18db/οκτάβα ή 12db/οκτάβα παραλείπονται, όπως προαναφέραμε, ορισμένα εξαρτήματα και άλλα βραχυκυκλώνονται. Στην πλακέ-τα τοποθετούνται τα πάντα εκτός από τον μετασχηματιστή. Για στερεοφωνική λειτουργία πρέπει να συμπληρωθούν δύο ίδιες πλακέτες.

Συνιστούμε να χρησιμοποιηθεί θωρακισμένο καλώδιο για τις συνδέσεις των εξόδων του ενεργού δικτύωματος κατανομής προς τους τελικούς ενισχυτές. Αν το δικτύωμα κατανομής και οι τελικοί ενισχυτές τοποθετηθούν μέσα στο ηχείο, θα πρέπει να τους αφιερωθεί ένα συγκεκριμένο τμήμα του ηχείου, ηχητικά μονωμένο από το υπόλοιπο ηχείο.

Έτσι δεν θα κινδυνεύουν τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα και οι πλακέτες από υπερβολικές δονήσεις που ενδεχομένως να προκαλέσουν οι χαμηλές συχνότητες.

Οι ενισχυτές ισχύος χρειάζονται φυσικά το κατάλληλο ψυγείο.

