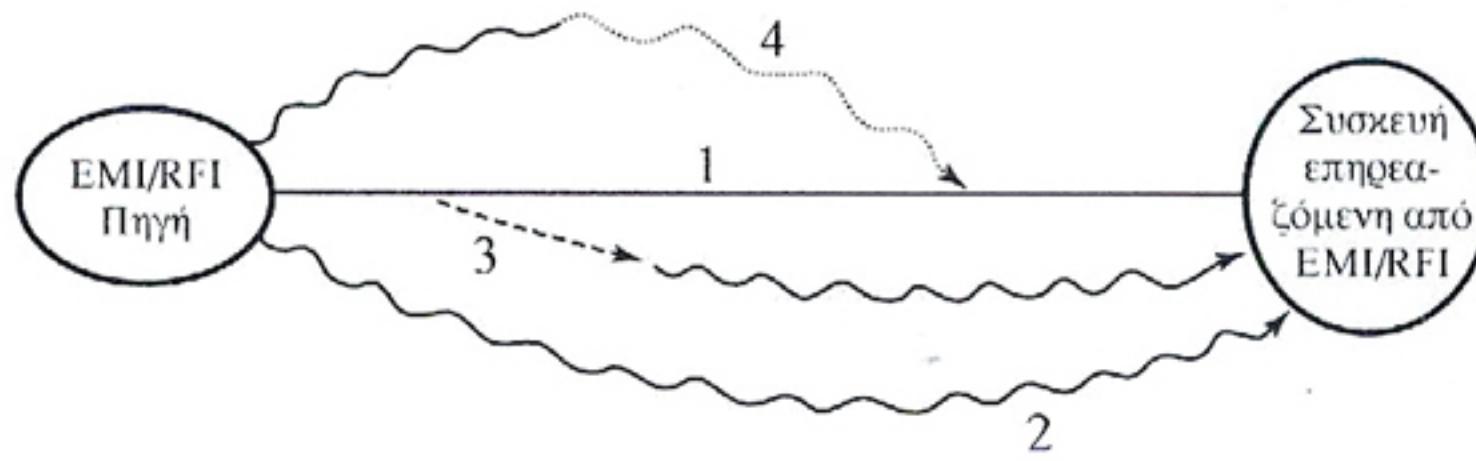


5.4 EMI/RFI ΦΙΛΤΡΑ

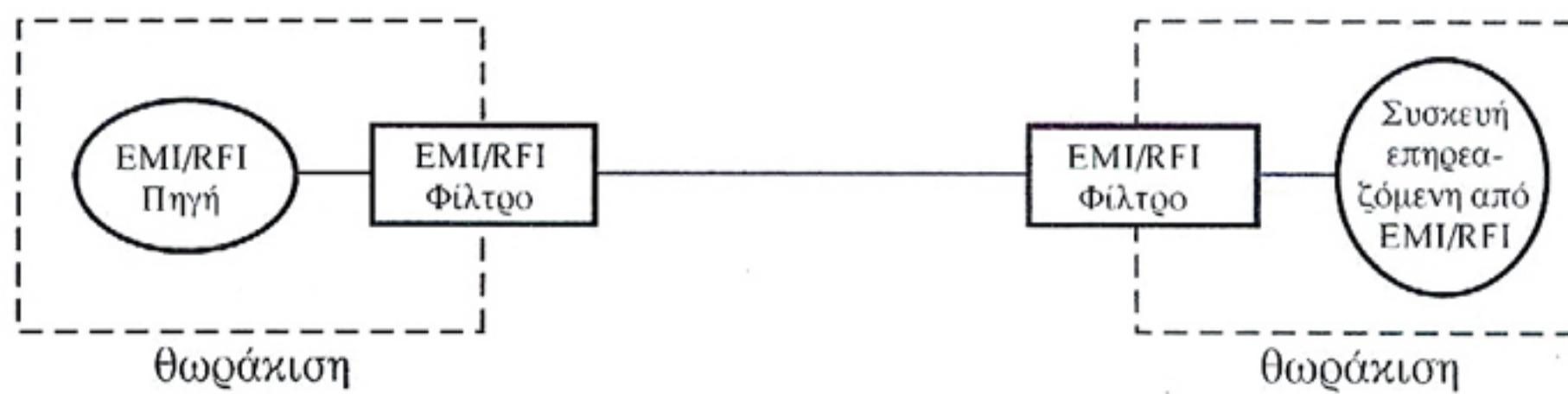
Σ' όλα τα ηλεκτρονικά κυκλώματα και συσκευές, αναλογικά ή ψηφιακά, παρουσιάζονται ανεπιθύμητοι θόρυβοι, ηλεκτρομαγνητικά κύματα και οαδιοσχνότητες. Τα φίλτρα που τα καταστέλλουν ονομάζονται EMI (Electro-Magnetic Interference) RFI (Radio-Frequency Interference), δηλαδή καταστέλλουν αυτές τις ανεπιθύμητες παρεμβολές.

Στο σχ. 5.17 φαίνονται οι τέσσερις τρόποι διάδοσης αυτών των θορύβων: 1) διαμέσου του αγωγού, 2) διαμέσου του περιβάλλοντος χώρου, 3) από τον α-

γωγό στο περιβάλλοντα χώρο και 4) από τον περιβάλλοντα χώρο της πηγής στον αγωγό. Στο σχ. 5.18 δίνεται ο βασικός τρόπος καταστολής EMI/RFI.



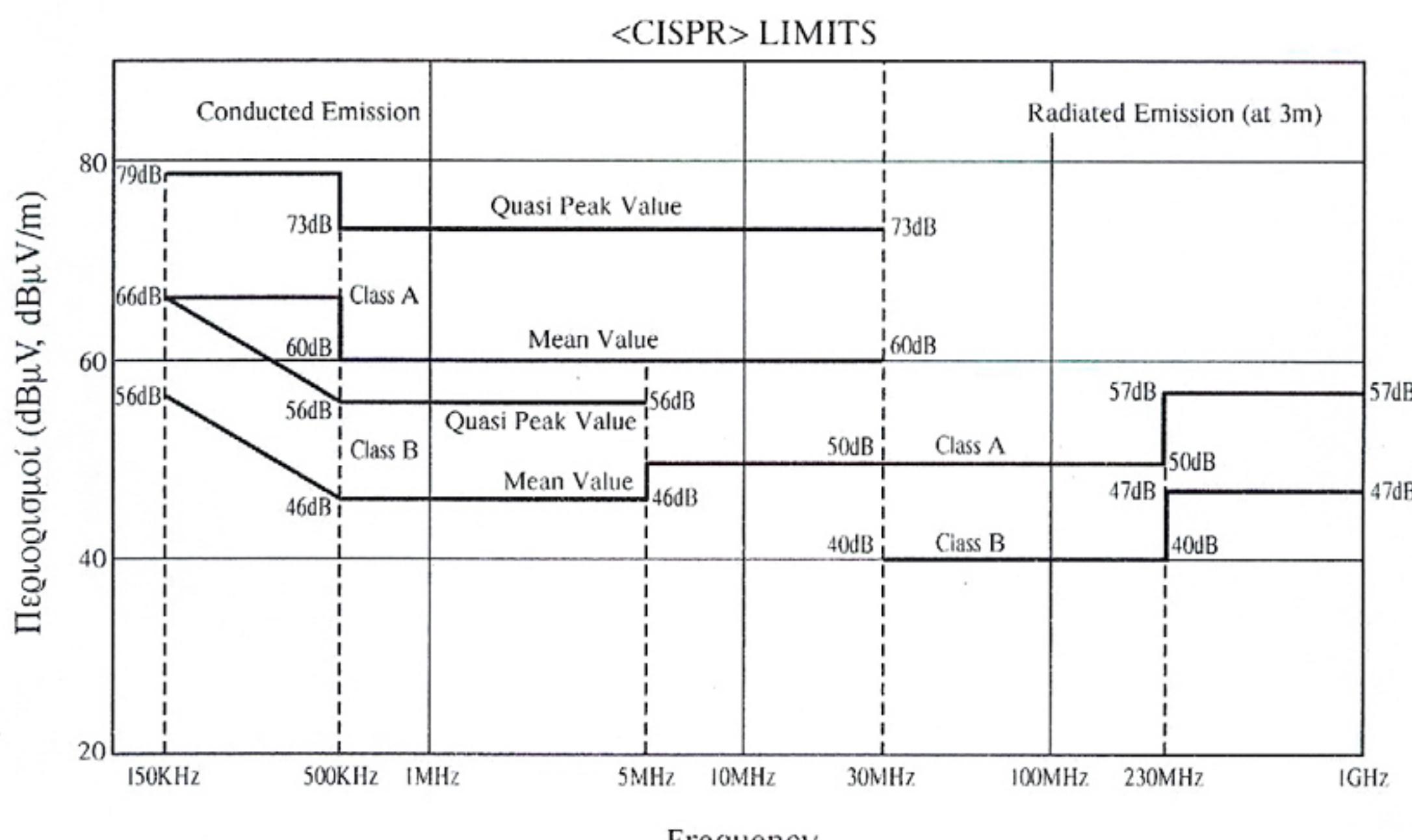
Σχήμα 5.17



Σχήμα 5.18

Στην Ελλάδα, όπως και στις υπόλοιπες χώρες της Ε.Ε., από την 1/1/1997 κάθε ηλεκτρική ή ηλεκτρονική συσκευή θα πρέπει να φέρει αντιπαρασιτικά φίλτρα EMI/RFI (IEC 1000-4-X/95) και για την πιστοποίησή τους θα φέρουν το σύμβολο **CE** (Conformité Européenne).

Υπάρχουν διάφοροι κανονισμοί για τις απαιτήσεις καταστολής EMI/RFI, όπως FCC, CISPR, VDE κ.λπ. Στο σχ. 5.19 δίνονται οι περιορισμοί <CISPR> από τους πλέον χρησιμοποιούμενους.



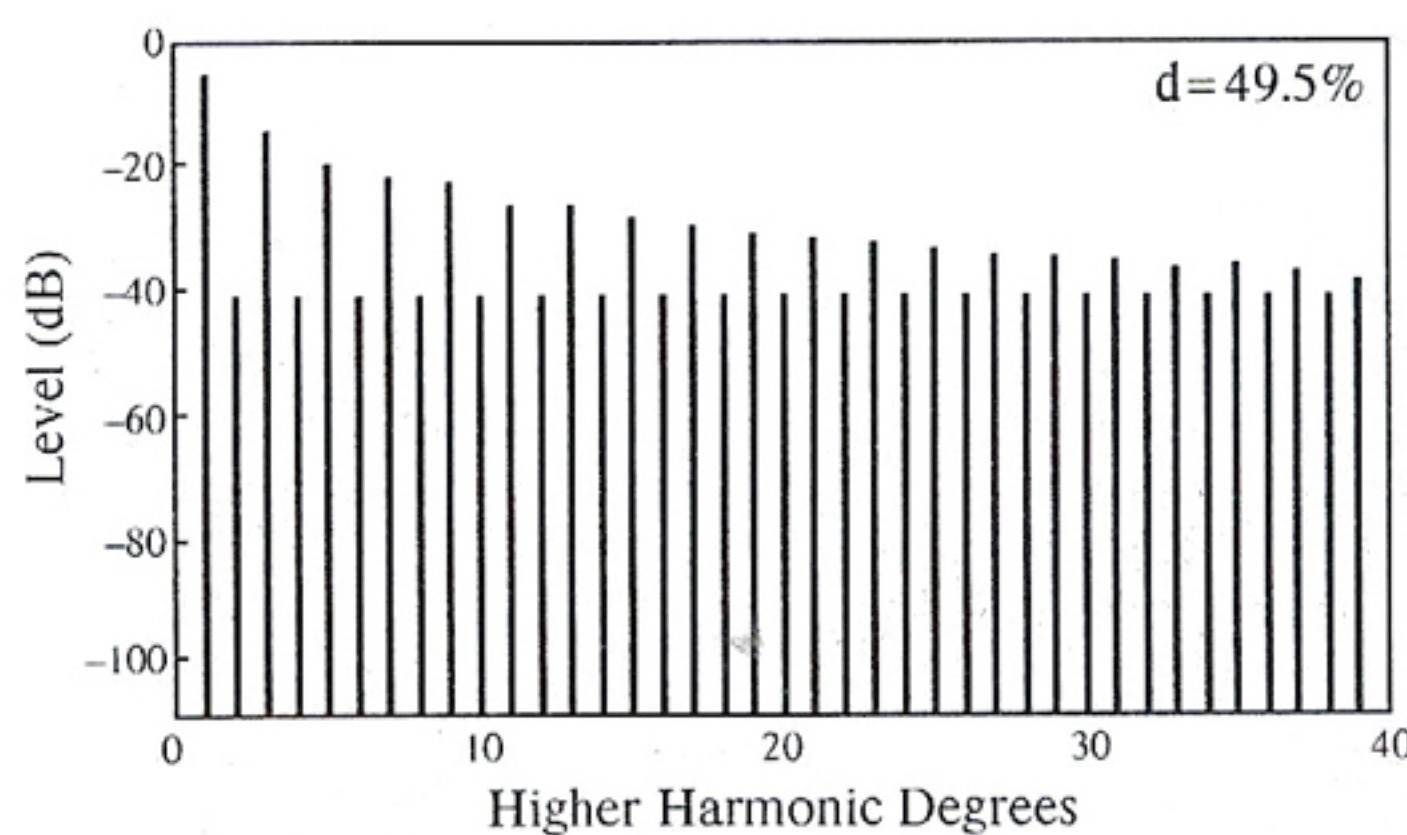
Σχήμα 5.19

Οι EMI/RFI παρεμβολές στα αναλογικά κυκλώματα προέρχονται από βιομηχανικά παράσιτα, ατμοσφαιρικούς και κосμικούς θορύβους, ηλεκτρονικά στοιχεία π.χ. θερμικός θόρυβος, ηλεκτρονικά κυκλώματα π.χ. τοπικός ταλαντωτής, γραμμές μεταφοράς ενέργειας ή σήματος κ.λπ. Αντίστοιχα στα ψηφιακά κυκλώματα έχουμε παρεμβολές:

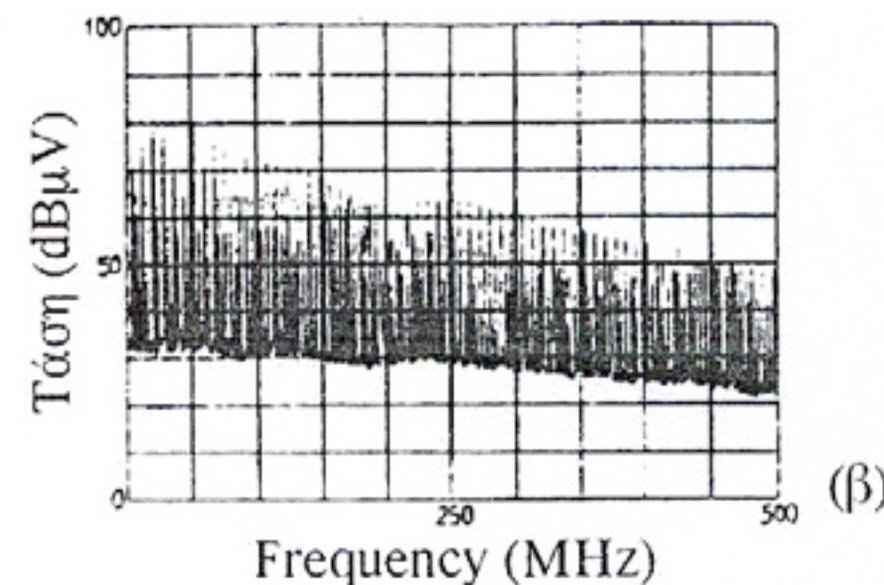
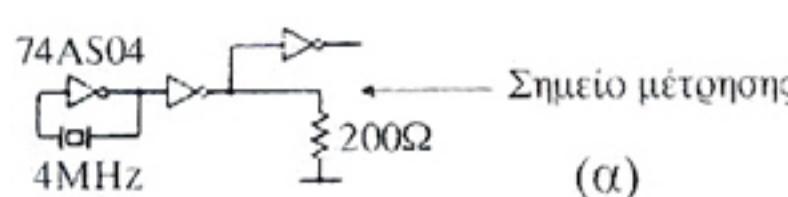
- α) στη γραμμή τροφοδοσίας των IC's,
- β) ακτινοβολία από την πλακέτα των IC's,
- γ) ακτινοβολία από τη γραμμή σήματος,
- δ) ακτινοβολία από καλώδια I/O (εισόδου-εξόδου) και
- ε) ακτινοβολία από τη γείωση.

Παρακάτω θα εξετάσουμε την παραγωγή θορύβων που προαναφέραμε και τους τρόπους καταστολής τους.

Στο σχ. 5.20 φαίνεται το φάσμα αρμονικών ενός ιδανικού τετραγωνικού σήματος με $d=49.5\%$, δηλαδή κύκλο εργασίας (duty cycle) ίσο με t/T . Στο σχ. 5.21 δίνεται το κύκλωμα του 74AS04 (NOT) με συχνότητα 4MHz (α) και το φάσμα που παράγεται από αυτό είναι πολλών εκατοντάδων MHz (β).



Σχήμα 5.20



(Using 10:1 divider and active probe)

Σχήμα 5.21

5.5.2.1 SAW φίλτρα

Surface Acoustic Wave (ακουστικό κύμα επιφάνειας), είναι το κύμα το οποίο διαδίδεται κατά μήκος της επιφάνειας ενός ελαστικού υποστρώματος, του οποίου το πλάτος φθίνει εκθετικά ως προς το βάθος του υποστρώματος. SAW φίλτρο είναι αυτό που χαρακτηρίζεται από ένα ακουστικό κύμα επιφάνειας το οποίο παράγεται από το IDT (InterDigital Transducer) και διαδίδεται κατά μήκος της επιφάνειας του υποστρώματος προς ένα αποδέκτη IDT. Το IDT είναι μία κατασκευή σαν σχήμα χτενιού αποτελούμενο από παρεμβαλλόμενα μεταλλικά ηλεκτρόδια που μετατρέπουν την ηλεκτρική σε ακουστική ενέργεια και τανάπαλιν, διαμέσου του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου. Ο συντελεστής ηλεκτρομηχανικής σύζευξης SAW είναι:

$$K_s^2 = 2 \left| \frac{\Delta U}{U} \right| \quad 5.1$$

και δηλώνει ικανότητα μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε ακουστική και αντίστροφα. Απορροφητής είναι η ελαστική σιλικόνη που καλύπτει την πλευρά εξόδου των IDT's για να παρεμποδίζει το ακουστικό κύμα επιφάνειας να διαδίδεται προς την έξοδο, διότι η κατασκευή των IDT's είναι συμμετρική και το ακουστικό κύμα επιφάνειας διαδίδεται προς τα δεξιά και προς τα αριστερά.

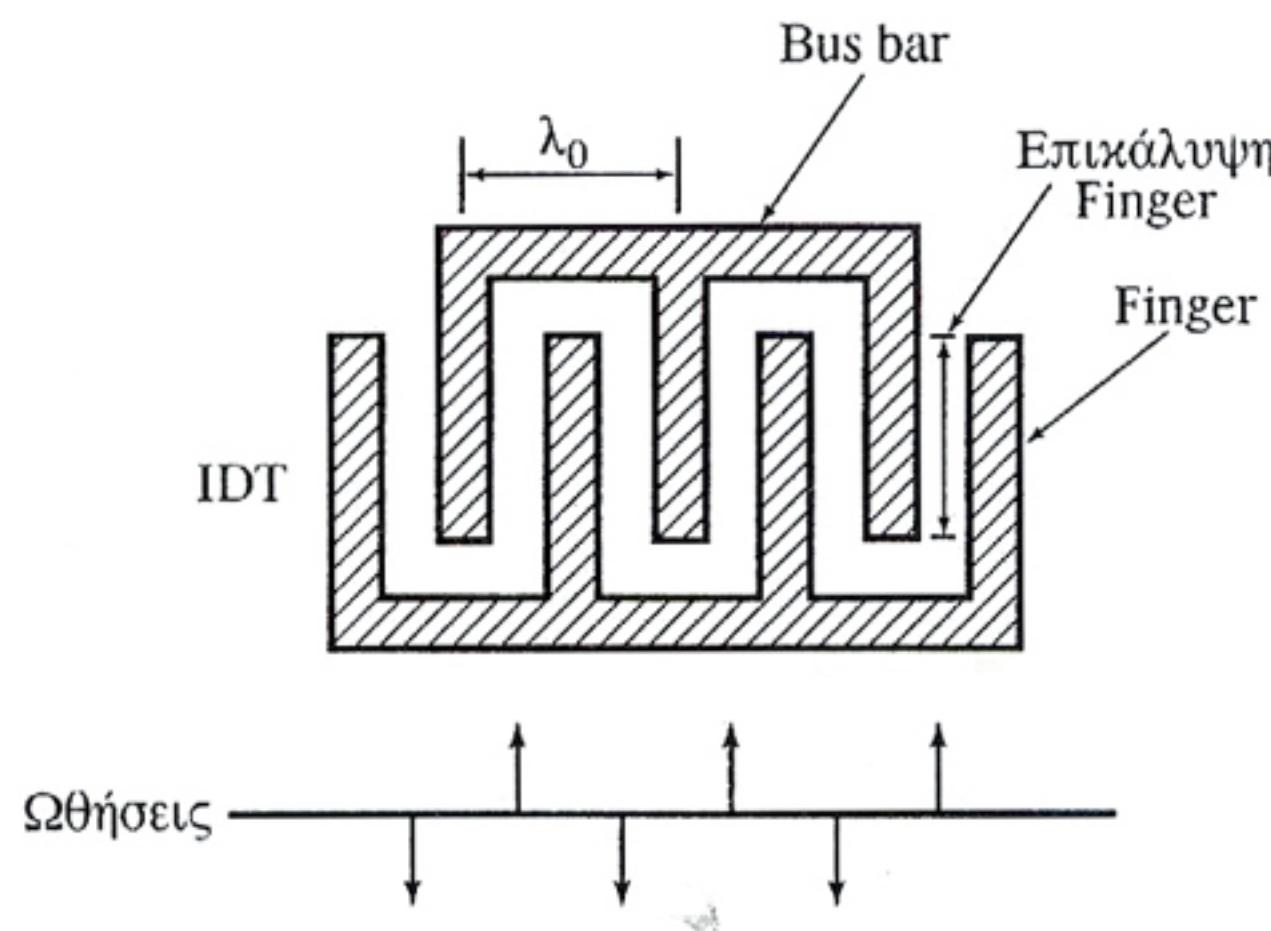
Ανεπιθύμητα σήματα σε ένα SAW φίλτρο.

- 1) TTE (Triple Transit Echo) ηχώ τριπλής διέλευσης, είναι τα σήματα τα οπία διασχίζουν τρεις φορές την οδό διέλευσης μεταξύ εισόδου και εξόδου των

IDT's.

- 2) Bulk Wave Signals (σήματα μαζικού κύματος) τα οποία οφείλονται στη διέγερση του μαζικού κύματος και καταστέλλονται με τη γείωση του κάτω μέρους του υποστρώματος.
- 3) Feed-through Signals είναι εκείνα τα οποία από την είσοδο του φίλτρου εμφανίζονται στην έξοδο και οφείλονται στη σύζευξη των χωρητικοτήτων διαρροής και άλλες ηλεκτρομαγνητικές συζεύξεις.

Όσα αναφέρθησαν προηγουμένως αποτελούν εισαγωγή στα SAW φίλτρα για την παραπέδα εξέτασή τους. Αυτά πρωτοεμφανίσθηκαν το 1976 και έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τα LC φίλτρα χωρίς να χρειάζονται ρύθμιση, απαιτούν λιγότερη εργασία, βελτιώνουν την εικόνα στις TV, έχουν μικρό θερμοκρασιακό συντελεστή, κατασκευάζονται σε ολοκληρωμένη μορφή μαζί με άλλα κυκλώματα και είναι μικρού κόστους.



Σχήμα 5.59

Στο σχ. 5.59 παρουσιάζεται η εσωτερική δομή ενός SAW φίλτρου με normal IDT, δηλαδή σταθερή επικάλυψη finger και σταθερή απόσταση λ_0 . Το πρώτο IDT που συνδέεται με την είσοδο παράγει ένα ακουστικό κύμα επιφάνειας, ενώ το δεύτερο IDT συνδέεται με την έξοδο και μετατρέπει την ενέργεια SAW σε ηλεκτρική τάση. Η ενέργεια SAW μεταφέρεται από το ένα στο άλλο IDT με πυκνώματα και αραιώματα στο υπόστρωμα, μέσω του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου. Έτσι ένα ζεύγος γειτονικών ωθήσεων αντίθετης πολικότητας ανταποκρίνεται προς ένα ζεύγος ηλεκτροδίων (fingers). Όταν το μήκος κύματος του ακουστικού κύματος επιφάνειας είναι ίσο με λ_0 , τότε λαμβάνεται η μέγιστη ενέργεια SAW. Η εξασθένιση σε ένα φίλτρο SAW με normal IDT δίνεται από τη σχέση:

$$A_f = \frac{\sin N \pi X}{N \pi X} \quad (\text{dB}) \quad 5.2$$

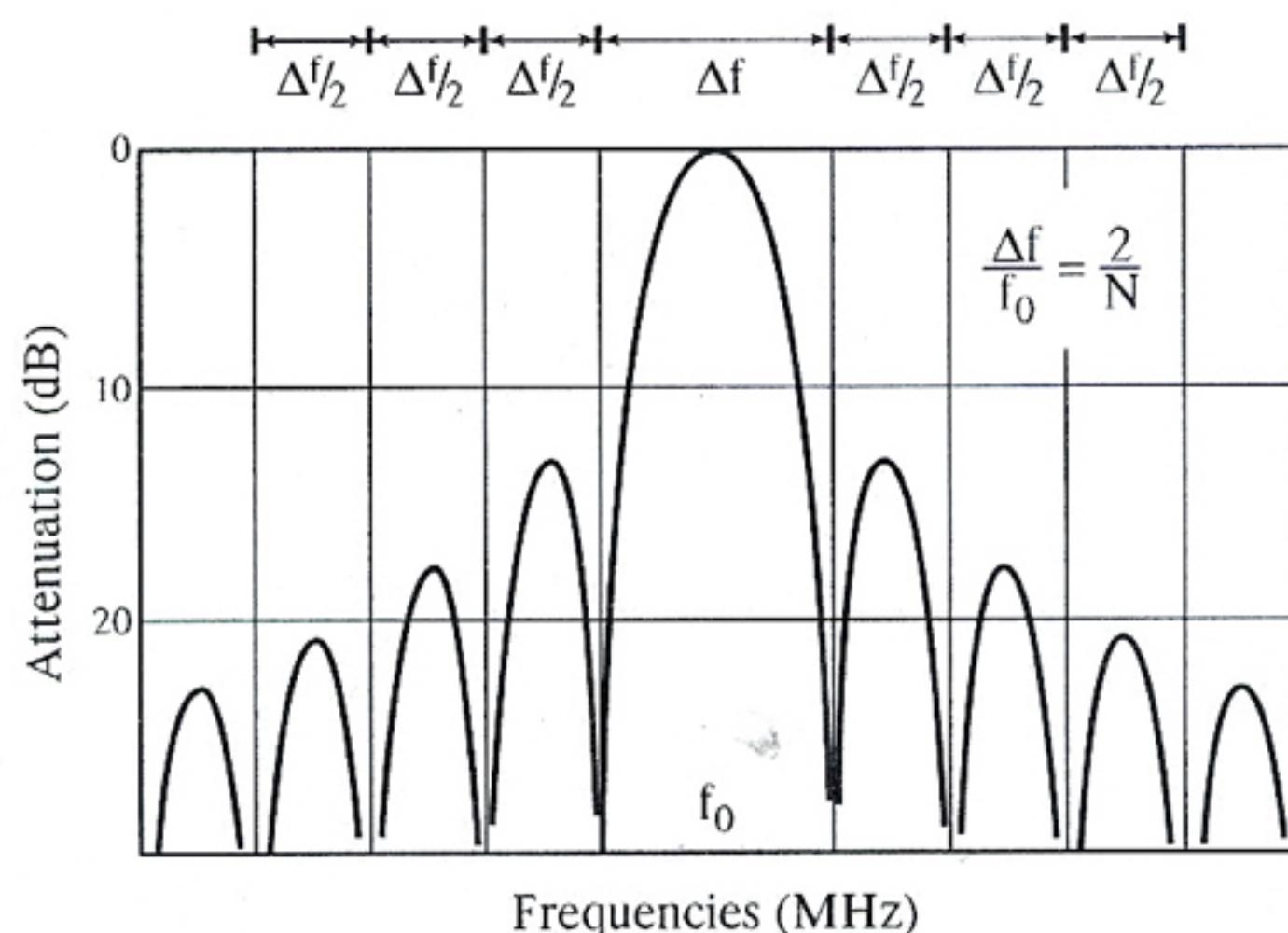
$$\text{όπου } X = \frac{f - f_0}{f_0} \quad \text{και} \quad f_0 = \frac{V}{\lambda_0} ,$$

N = αριθμός ζευγών ηλεκτροδίων,

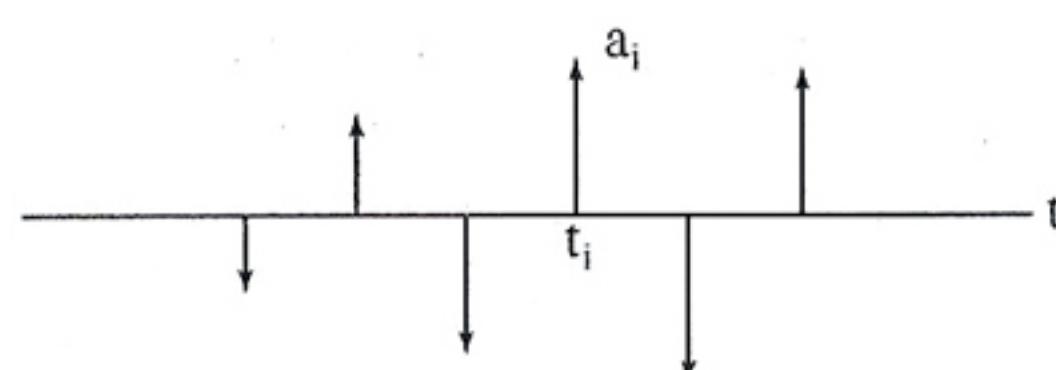
V = ταχύτητα κύματος,

λ_0 = απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων.

Στο σχ. 5.60 οι χαρακτηριστικές συχνότητας ισχύουν για SAW φίλτρα με normal IDT. Αυτές οι χαρακτηριστικές μπορούν να αλλάξουν με δύο τρόπους: 1) μεταβάλλοντας την επικάλυψη των ηλεκτροδίων, δηλαδή το μέγεθος των ωθήσεων που καλείται «apodize» και 2) μεταβάλλοντας την απόσταση των ηλεκτροδίων (pitch), δηλαδή τη θέση των ωθήσεων που καλείται «μεταβλητό pitch». Οι δύο αυτοί τρόποι αναφέρονται ως ζυγοσταθμιστική μέθοδος. Στο σχ. 5.61 δίνονται οι ζυγοσταθμισμένες ωθήσεις.

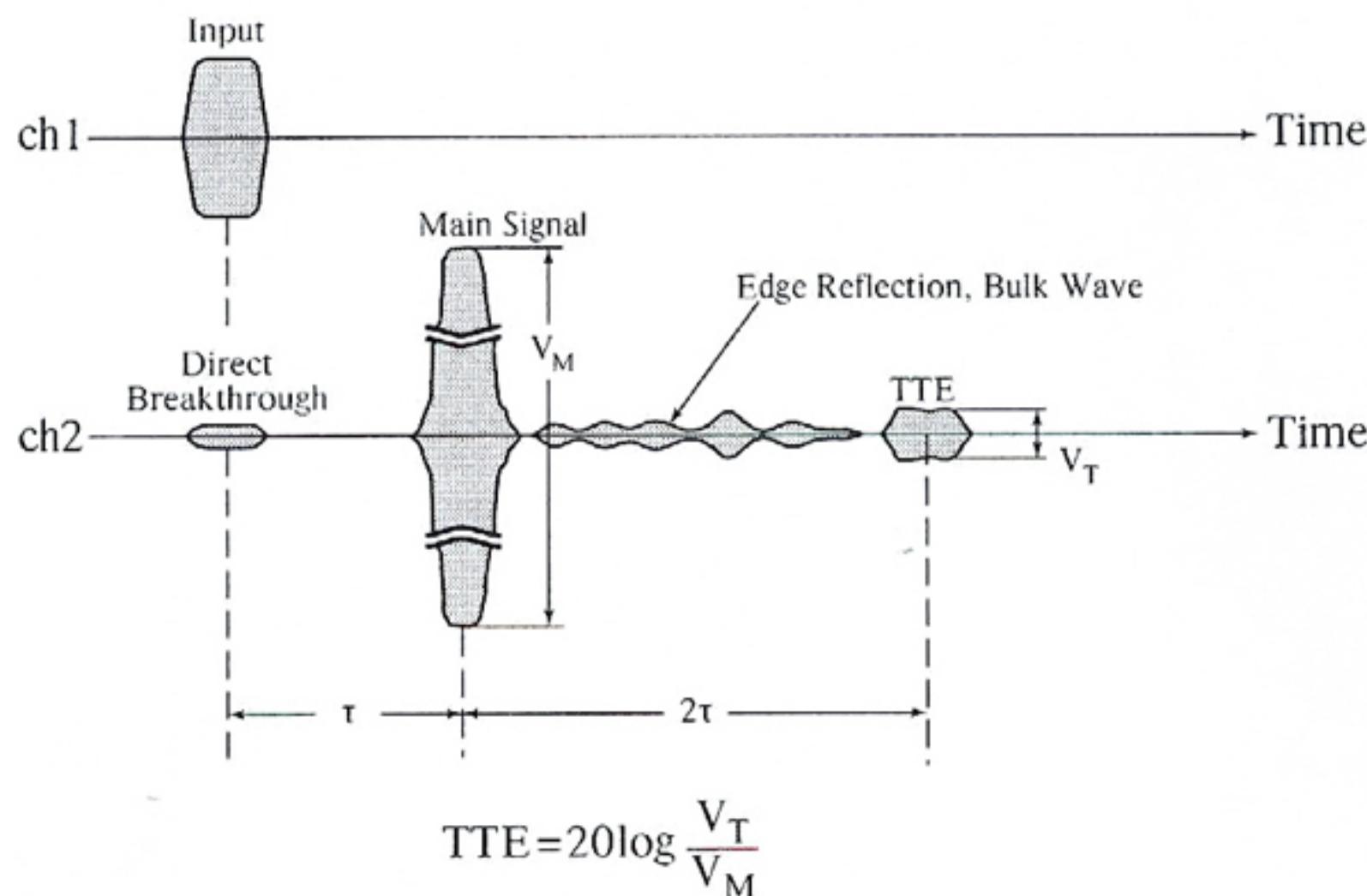


Σχήμα 5.60

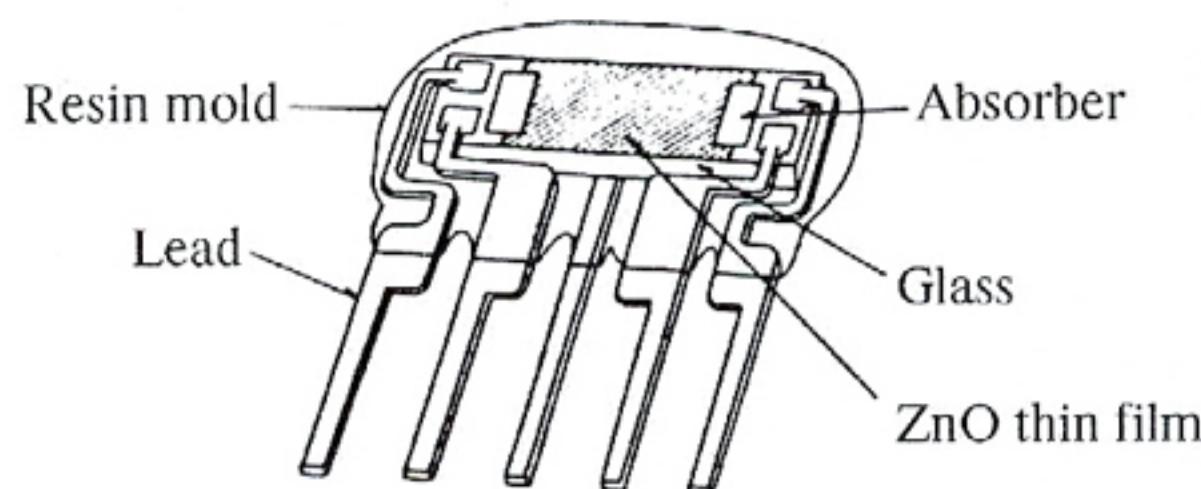


Σχήμα 5.61

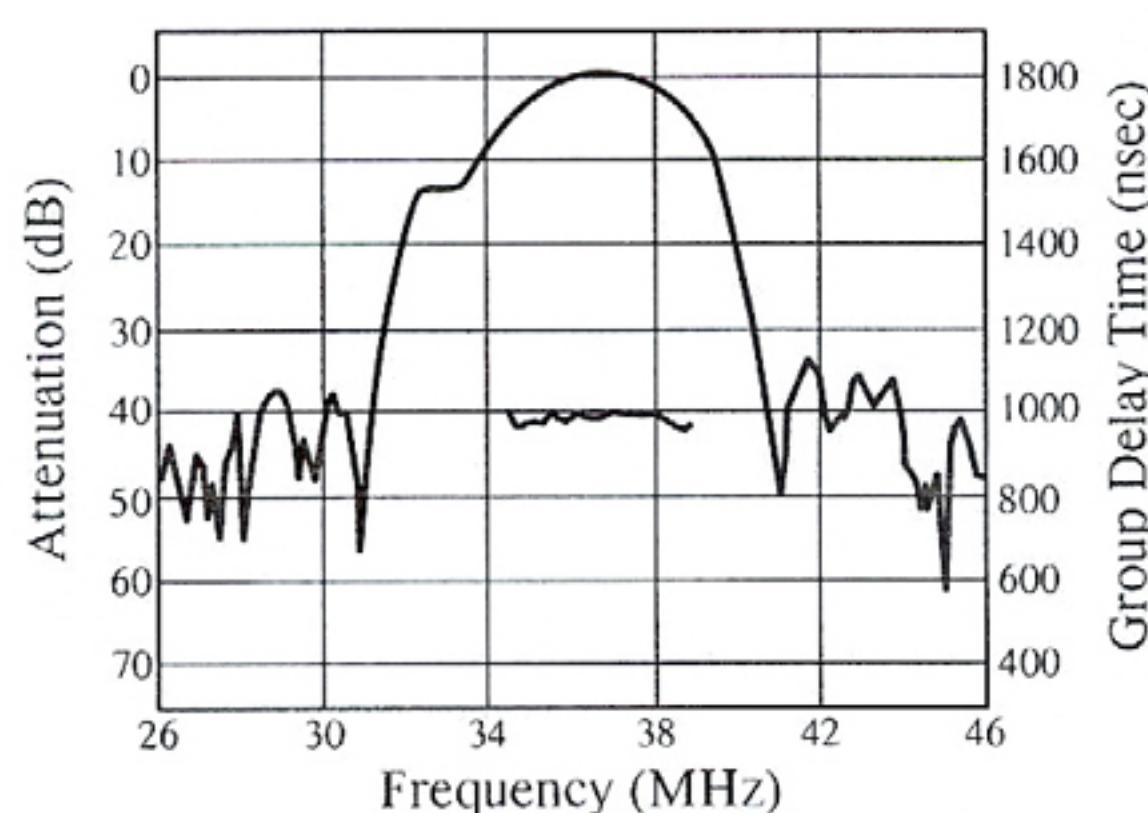
Στο σχ. 5.62 το κύριο σήμα (Main Signal) στην έξοδο παρουσιάζεται με καθυστέρηση t και αντιστοιχεί στο σήμα εισόδου (Input), ενώ φαίνονται και τα ανεπιθύμητα σήματα ΤΤΕ, τα σήματα μαζικού κύματος (Edge Reflection, Bulk Wave) συν αντανάκλασης άκρων και feed-through signals (Direct Breakthrough).

**Σχήμα 5.62**

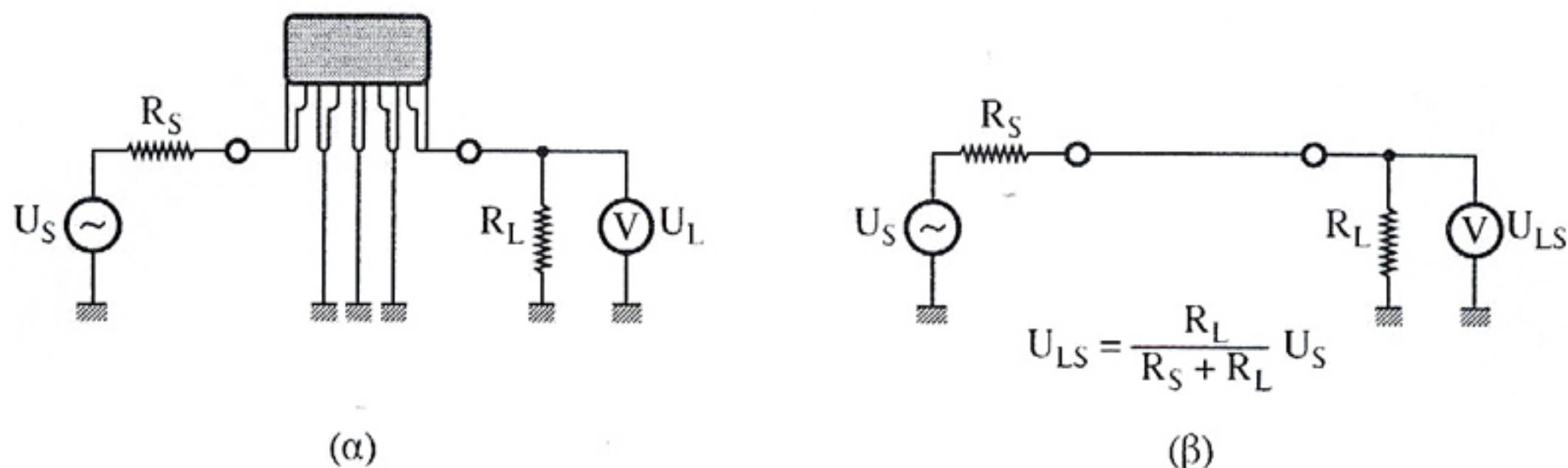
Στο σχ. 5.63 δίνεται η δομή ενός SAW φίλτρου με απορροφητή μόνο στην έξοδο (Absorber).

**Σχήμα 5.63**

Στο σχ. 5.64 δίνεται η απόκριση συχνότητας ενός φίλτρου SAW και η ολική χρονική καθυστέρηση μεταξύ εισόδου-έξόδου. Είναι φανερή η διαφορά με τα LC φίλτρα· εδώ υπάρχουν κυματώσεις έξω από τη ζώνη διέλευσης οι οποίες οφείλονται κυρίως στα σήματα TTE και Direct Breakthrough.

**Σχήμα 5.64**

Από το σχ. 5.65α οι απώλειες τάσης ορίζονται με τη σχέση: $20 \log \frac{U_S}{U_L}$ με SAW φίλτρο.



Σχήμα 5.65

Από το σχ. 5.65β αντίστοιχα χωρίς φίλτρο έχουμε:

$$20 \log \frac{U_S}{U_{LS}} = 20 \log \frac{R_S + R_L}{R_L}$$

Ως εισαγόμενες απώλειες (Insertion Loss) ορίζεται το μέγεθος:

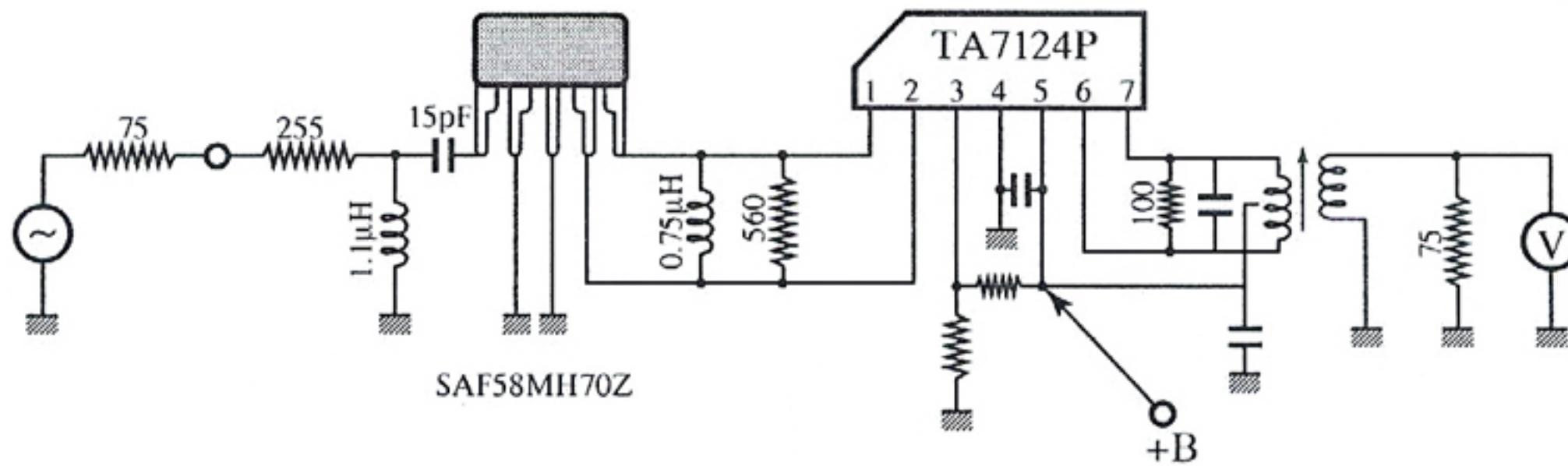
$$I.L = 20 \log \frac{U_S}{U_L} - 20 \log \frac{R_S + R_L}{R_L} \quad (dB) \quad 5.3$$

και ως απώλειες ισχύος (Power Loss) το:

$$P.L = I.L + 10 \log \frac{(R_S + R_L)^2}{4 R_S \cdot R_L} \quad (dB) \quad 5.4$$

Είναι φανερό ότι αν $R_s = R_L$ τότε $P.L = I.L$, δηλαδή οι απώλειες ισχύος είναι ίσες με τις εισαγόμενες απώλειες. Οι απώλειες ισχύος ενός SAW φίλτρου καθορίζονται από τις σύνθετες αντιστάσεις εισόδου και εξόδου του. Κοντά στην κεντρική συχνότητα του φίλτρου, οι σύνθετες αντιστάσεις εισόδου και εξόδου του ισοδυναμούν με έναν πυκνωτή και μία αντίσταση παράλληλα. Αυτή η αντίσταση καλείται αντίσταση ακτινοβολίας και η ισχύς καταναλώνεται από αυτή την αντίσταση που γίνεται ενέργεια επιφανειακού κύματος. Αν ισχύει $R_s = |Z_{in}|$ και $R_L = |Z_{out}|$ του SAW φίλτρου, τότε οι απώλειες ισχύος ελαχιστοποιούνται.

Οι Z_{in} και Z_{out} περιλαμβάνουν και χωρητικά στοιχεία, το οποία μπορεί να ακυρωθούν μέσω μίας αυτεπαγωγής και έτσι τα εναπομείναντα ομικά στοιχεία να προσαρμοσθούν με τις R_s και R_L .



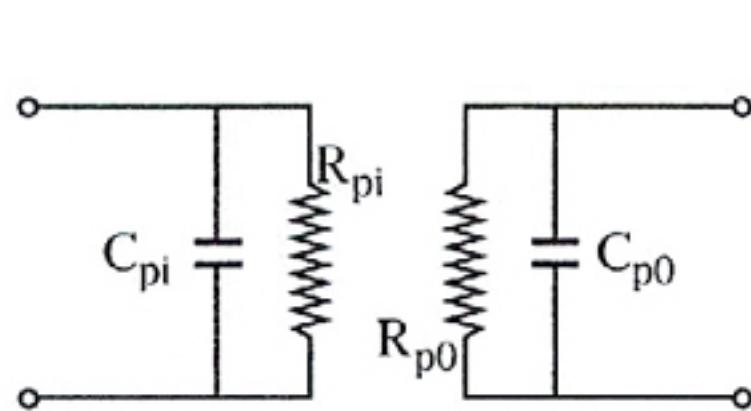
Σχήμα 5.66

Στο πιο πάνω σχήμα φαίνεται η προσαρμογή αντιστάσεων μέσω αυτεπαγωγών $1.1\mu\text{H}$ και $0.75\mu\text{H}$.

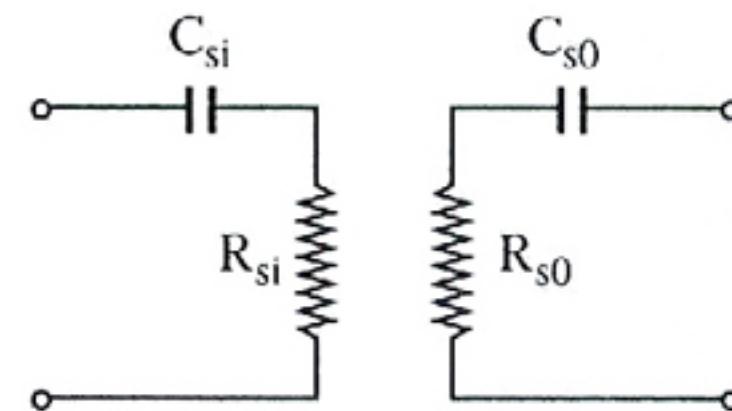
Τέλος η απαιτούμενη καταστολή των TTE πρέπει να είναι πρακτικά -40dB , γι' αυτό και οι απώλειες ισχύος ακόμη και χωρίς προσαρμογή πρέπει να είναι μεγαλύτερες από 18dB .

Οι σύνθετες αντιστάσεις εισόδου-εξόδου ενός SAW φίλτρου καθορίζονται κυρίως από το υλικό πιεζοηλεκτρικού υποστρώματος. Έτσι για υψηλές σύνθετες αντιστάσεις χρησιμοποιείται λεπτό film ZnO με μικρή διηλεκτρική σταθερά (8.5), ενώ για χαμηλές σύνθετες αντιστάσεις χρησιμοποιείται πιεζοηλεκτρικό κεραμικό PZT [$\text{Pb}(\text{Sn}\frac{1}{2}\text{Sb}\frac{1}{2})\text{O}_3$ - PbTiO_3 - PbZrO_3] με σχετικά μεγάλη διηλεκτρική σταθερά (400). Επίσης η μέθοδος χρήσης (συντονισμένη ή όχι), καθορίζει τις σύνθετες αντιστάσεις ενός SAW φίλτρου.

Στο σχ. 5.67α παρουσιάζεται το ισοδύναμο κύκλωμα ενός ασυντόνιστου SAW φίλτρου, οι χωρητικότητες του οποίου εξουδετερώνονται με πηνία παράλληλου συντονισμού και οι σύνθετες αντιστάσεις του κοντά στο συντονισμό γίνονται ίσες με R_p .



(α) Parallel expression



(β) Series expression

Σχήμα 5.67

Στο σχ. 5.67β έχουμε κύκλωμα συντονισμού σειράς και οι σύνθετες αντιστάσεις (περιλαμβανομένων και των αυτεπαγωγών) γίνονται ίσες με R_s . Από τον πίνακα 5.9 αν συγκρίνουμε το SAF58MH70Z με το SAF58MSA70P βλέπουμε τις σαφώς μικρότερες τιμές των R_p και R_s στο δεύτερο τύπο που οφείλονται στο υλικό υποστρώματος. Επίσης είναι φανερή η διαφορά τιμών στον πρώτο τύπο (και σε όλους ομοίως) μεταξύ R_{pi} , R_{si} και R_{p0} , R_{s0} που οφείλονται στο συντονισμό.