

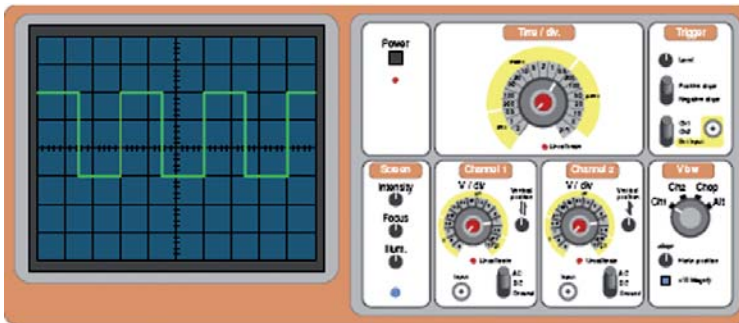
ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι περισσότερες ηλεκτροακουστικές μετρήσεις γίνονται σε μία βάση διέγερσης - απάντησης. Ένα σήμα με γνωστά χαρακτηριστικά εισάγεται στην είσοδο της υπό δοκιμής συσκευής DUT (**D**evice **U**nder **T**est) και μετριέται στην έξοδο του DUT. Η συμπεριφορά της υπό δοκιμής συσκευής (DUT) καθορίζεται από την εξασθένιση του σήματος που εξέρχεται, σε σχέση με το γνωστό σήμα εισόδου. Συχνά, ένα σετ από μετρήσεις πραγματοποιείται, καθώς το ερέθισμα σαρώνει ή αλλάζει βαθμιαία το φάσμα συχνοτήτων ή μέσα από ένα εύρος πλάτους, και οι επιδιωκόμενες πληροφορίες καθορίζονται από την σχέση ανάμεσα στο αντίστοιχο σύνολο των μετρήσεων στην έξοδο της DUT.

Το πιο συνηθισμένο σήμα εισόδου για ηλεκτροακουστικές μετρήσεις είναι ένα ημιτονοειδές σήμα. Το ημιτονοειδές σήμα έχει ένα βασικό χαρακτηριστικό, δεδομένου ότι είναι το μόνο σήμα που συγκεντρώνει όλη την ενέργειά του σε ένα συγκεκριμένο σημείο του φάσματος συχνοτήτων. Είναι επομένως σχετικά απλή η ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών σε ένα ημιτονοειδές σήμα. Πολλαπλά ημιτονοειδή σήματα (συνήθως δύο) χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση παραμόρφωσης ενδοδιαμόρφωσης (Intermodulation Distortion), ενώ ένας μεγάλος αριθμός πολλαπλών ημιτονοειδών σημάτων χρησιμοποιούνται σε μερικές νέες μετρητικές τεχνικές. Ο λευκός θόρυβος, ο ροζ θόρυβος, τα τετραγωνικά σήματα, και οι παλμοί μπορούν επίσης να

χρησιμοποιηθούν ως ερέθισμα για συγκεκριμένους τύπους ηχητικών μετρήσεων. Είναι επίσης δυνατό να γίνουν ορισμένες μετρήσεις που χρησιμοποιούν ως ερέθισμα την μουσική ή την ανθρώπινη φωνή.

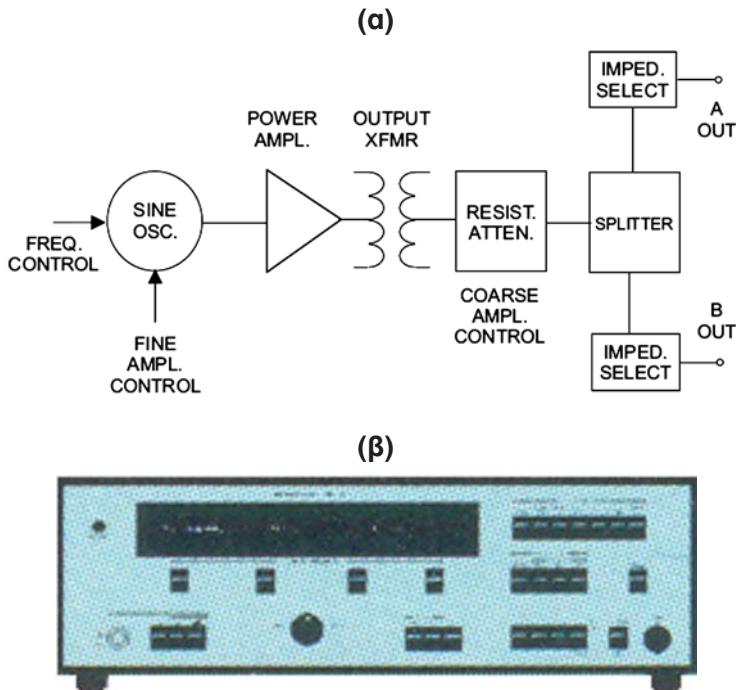
Οι περισσότερες ακουστικές μετρήσεις γίνονται συνήθως με ένα όργανο που είναι στην πραγματικότητα ένα βολτόμετρο εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Τα ηλεκτρικά φίλτρα ενσωματώνονται συνήθως στο βολτόμετρο για πολλές από τις απαραίτητες μετρήσεις. Μερικές προηγμένες ηλεκτρακουστικές μετρήσεις γίνονται με συσκευές ανάλυσης φάσματος, οι οποίες σήμερα πια είναι συσκευές ανάλυσης FFT (Fast Fourier Transform) σε αντικατάσταση των ετερόδυνων αναλυτών (Heterodyne Analyzers) ή των συσκευών ανάλυσης φάσματος (Spectrum Analyzers). Συγκεκριμένες επίσης ακουστικές μετρήσεις μπορούν να γίνουν συσκευές γνωστές ως RTAs (Real Time Analyzers), οι οποίες αποτελούνται από έναν μεγάλο αριθμό ζωνοδιαβατών φίλτρων συγκεκριμένων συχνοτήτων, κάθε μία με το βολτόμετρό της, μαζί με το σύνολο τερματικών εισόδου. Μια βασική διάκριση, χαρακτηριστική των ηλεκτροακουστικών μετρήσεων, είναι η μεγάλη δυναμική περιοχή. Οι παλμογράφοι δεν χρησιμοποιούνται πια για τις ποσοτικές μετρήσεις στον χώρο της ηλεκτροακουστικής δεδομένου, ότι μόνο οι «χοντρικές» ατέλειες όπως πχ. το ψαλίδισμα του σήματος είναι εύκολα ορατές μέσω από την απεικόνιση στο πεδίο του χρόνου (time domain)



Σχήμα 2.1. Τυπικός παλμογράφος δυο δεσμών ακουστικών συχνοτήτων.

2.1 ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΗΜΙΤΟΝΟΥ (SINE WAVE GENERATORS)

Η παραγωγή ημιτονοειδών σημάτων για ακουστικές μετρήσεις μπορεί να επιτευχθεί μέσα από ένα ευρύ φάσμα τεχνικών. Οι παλαιότερες, που παραμένουν ακόμα με την χαμηλότερη παραμόρφωση, χρησιμοποιούν κυκλώματα ταλαντωτών αντίστασης-πυκνωτή (RC) όπως η γέφυρα Wien, διπλά T η γέφυρες διπλών T.



Σχήμα 2.2. Μπλοκ διάγραμμα μιας τυπικής γεννήτριας ακουστικών συχνοτήτων (α), εργαστηριακή γεννήτρια ημιτονοειδών σημάτων (β)

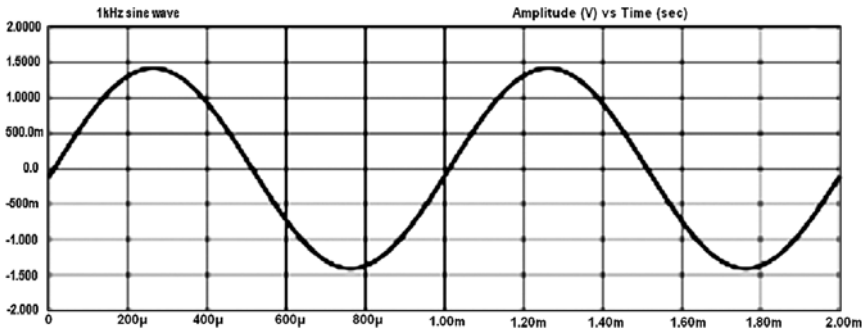
Για την παραγωγή ηχητικών σημάτων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν γεννήτριες συναρτήσεων (Function Generators).

Μια άλλη τεχνική δημιουργίας μετρητικών σημάτων είναι οι συνθετητές. Υπάρχουν δύο γενικές κατηγορίες που είναι διαθέσιμες για τις ακουστικές συχνοτήτες:

- συνθετητές συχνότητας
- συνθετητές άμεσης ψηφιακής σύνθεσης (Direct Digital Synthesis).

Οι συνθετικές συχνότητας χρησιμοποιούν ταλαντωτές με βάση τους κρυστάλλους χαλαζία, ψηφιακούς διαιρετές συχνότητας, και κυκλώματα PLL (Phase-Locked-Loops) για την παραγωγή σημάτων.

Οι γεννήτριες άμεσης ψηφιακής σύνθεσης παράγουν σήμα που προέρχεται από την δειγματοληψία του αναλογικού σήματος και την αποστολή ψηφιακών δυαδικών λέξεων (Binary words), είτε από έναν πίνακα καταχωρημένο στη μνήμη, είτε παραγόμενο «στον αέρα» (on a fly), μέσω κάποιου αλγορίθμου. Σε συνέχεια το σήμα οδηγείται σε έναν ψηφιακό-αναλογικό μετατροπέα με ένα προκαθορισμένο ρυθμό δειγμάτων (σχ. 2.3). Κάθε μία από αυτές τις τεχνικές έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της, τα οποία θα αναφερθούν παρακάτω.



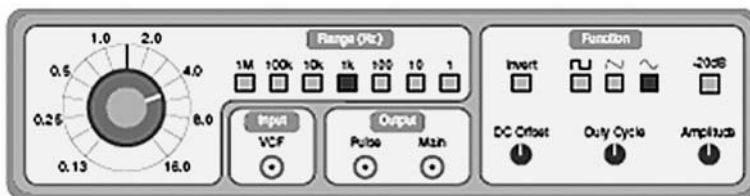
Σχήμα 2.3. Τυπική έξοδος μιας γεννήτριας ημιτόνου.

2.1.1 Ταλαντωτές RC

Οι RC ταλαντωτές επιτυγχάνουν πολύ χαμηλή παραμόρφωση της τάξης του 0.0001% με περιθώρια βελτίωσης, και χωρίς να υπάρχει κίνδυνος παραγωγής άλλων, ανεπιθύμητων συχνοτήτων). Το πλάτος τους δεν είναι απολύτως σταθερό σε σχέση με τη συχνότητα και χρειάζεται συνήθως ένα άλλο κύκλωμα σταθεροποίησης της τάσης εξόδου, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί στις μετρητικές εφαρμογές. Υπάρχει επίσης ανάγκη προστασίας του σήματος εξόδου από απότομες αλλαγές κατά τη διάρκεια μεταλλαγής των κυκλωμάτων R ή C για να αλλάξει η συχνότητα. Η ακρίβεια της συχνότητας εξαρτάται κυρίως από τις ανοχές των τιμών R και C, που μπορούν να είναι καλύτερες από 1%.

2.1.2 Γεννήτριες συναρτήσεων (Function Generators)

Οι γεννήτριες συναρτήσεων διατηρούν στην πραγματικότητα σταθερό πλάτος σε συνάρτηση με την συχνότητα και τοποθετούν το πλάτος εξόδου του σήματος σχεδόν αυτόματα με την αλλαγή της συχνότητας. Συνήθως, η βασική κυματομορφή που παράγεται από μια γεννήτρια συναρτήσεων είναι μια τριγωνική κυματομορφή και όχι ένα ημιτονοειδές σήμα. Οι γεννήτριες συναρτήσεων χρησιμοποιούν κυκλώματα αντιστάσεων-διόδων ή άλλες μη γραμμικές τεχνικές για να διαμορφώσουν την τριγωνική κυματομορφή, σε μια προσέγγιση του ημιτονοειδούς σήματος. Η παραμόρφωση βρίσκεται ακόμα σε αρκετά υψηλά επίπεδα (τυπικά παραμένουν στο 1% -2%) για πολλές ακουστικές εφαρμογές. Η ακρίβεια συχνότητας εξαρτάται από τις τιμές των R και C.



Σχήμα 2.4. Γεννήτρια συναρτήσεων ακουστικών συχνοτήτων.

2.1.3 Γεννήτριες συνθετικών συχνοτήτων (Frequency Synthesizers)

Οι γεννήτριες συνθετικών συχνοτήτων μπορούν να παραγάγουν εξαιρετικά ακριβείς συχνότητες, χάρη στη χρήση ταλαντωτή κρυστάλλου χαλαζία. Βέβαια, στις ακουστικές μετρήσεις δεν απαιτείται τόσο μεγάλη ακρίβεια στην επιλογή των συχνοτήτων. Οι συνθετητές αυτοί παράγουν διάφορα σήματα διαφορετικών συχνοτήτων χρησιμοποιώντας κυκλώματα, που διαμορφώνουν τα σήματα εξόδου (VCA, VCF κλπ.). Η παραμόρφωση της κυματομορφής δεν είναι πολύ χαμηλή και σπάνια είναι κάτω από την περιοχή από 0.1% με 1%.

2.1.4 Γεννήτριες απευθείας ψηφιακής σύνθεσης (Direct Digital Synthesizers)

Οι Γεννήτριες απευθείας ψηφιακής σύνθεσης, οι οποίες αποκαλούνται μερικές φορές και “Waveform Synthesizers”, μπορούν επίσης να παράγουν στην έξοδο τους σήματα ακριβείας, καθώς ο ρυθμός δειγμάτων του τοπικού ρολογιού (clock) μπορεί να βασίζεται πάνω σε έναν ταλαντωτή χαλαζία. Εντούτοις, μπορεί να εμφανιστούν ανεπιθύμητα σήματα στην έξοδο σε περίπτωση που η ζητούμενη συχνότητα ξεπεράσει το μισό της συχνότητας δειγματοληψίας του εσωτερικού ρολογιού και να προκαλέσουν προβλήματα. Η παραμόρφωση της κυματομορφής με την τεχνική αυτή μέσα στη ζώνη συχνοτήτων εξαρτάται κυρίως από τη ανάλυση (αριθμός των bits) και την ακρίβεια των μετατροπών D/A που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αναλογικής εξόδου. Κατά συνέπεια, ένας ψηφιακός συνθετητής με 16-bit μετατροπέα D/A παραγάγει παραμόρφωση άμεσα συγκρίσιμη με τα CD player, που κυμαίνεται περίπου στο 0.003%. Εάν υπάρξουν και άλλα συστατικά που βρίσκονται εκτός χρήσιμης ζώνης θα πρέπει να θεωρούνται ως παραμόρφωση και η τυπική απόδοση να υπολογίζεται περίπου στο 0.01%.

2.1.5 Σύγχρονες τεχνολογικές τάσεις στην παραγωγή σημάτων

Εκεί όπου η καθαρότητα (purity) της παραγόμενης ημιτονοειδούς κυματομορφής είναι ο σημαντικότερος παράγοντας, οι ταλαντωτές RC είναι η καλύτερη επιλογή. Το κύκλωμα με σταθερές μεταβλητές θεωρείται ως καλύτερη τοπολογία για να επιτύχει την χαμηλότερη παραμόρφωση και με τον μικρότερο χρόνο διευθέτησης (settling time). Το μειονέκτημα της σχετικά μέτριας ακρίβειας στον καθορισμό της συχνότητας δεν αποτελεί συνήθως σοβαρό πρόβλημα για τις περισσότερες ακουστικές μετρήσεις. Είναι επίσης δυνατό να προστεθούν κυκλώματα PLL για να «κλειδωθεί» η συχνότητα σε έναν συνθετητή, όταν απαιτείται η υψηλότερη ακρίβεια. Όταν επιδιώκονται πιο πολύπλοκες κυματομορφές, η άμεση ψηφιακή σύνθεση είναι οικονομικότερη και πιο συμφέρουσα. Δεδομένου ότι μετατροπείς D/A με όλο και υψηλότερες αποδόσεις είναι πλέον διαθέσιμοι στην αγορά, και μπορούν να τρέξουν σε οποιουσδήποτε ρυθμούς δειγμάτων που απαιτούνται για την πλήρη ακουστική δοκιμή του φάσματος, η τεχνική της

«απευθείας ψηφιακή σύνθεσης» είναι πιθανό να γίνει πιο δημοφιλής στα όργανα ηλεκτροακουστικών μετρήσεων.

2.1.6 Ολοκληρωμένα όργανα παραγωγής ακουστικών σημάτων

Μια γεννήτρια ηχητικών σημάτων αποτελείται από περισσότερα στοιχεία, πέρα από το βασικό κύκλωμα ταλάντωσης.

Κατά γενική ομολογία, οι ανάγκες των ακουστικών μετρήσεων μπορούν να απαιτήσουν ένα μεγάλο εύρος πλάτους σήματος, που να ξεκινάει από πολύ υψηλές τιμές, όπως ένα ακουστικό Watt (+30 dBm) για τη μέτρηση της χρήσιμης δυναμικής του σήματος (headroom) σε επίπεδο γραμμής (line level), και φτάνει μέχρι πολύ χαμηλές τιμές μερικών μικροβόλτ (μV) για προσομοίωση τυπικής εξόδου των μικροφώνων. Η απαιτούμενη δυναμική περιοχή είναι περίπου 120 dB. Απαιτούνται, τόσο οι ισορροπημένες (balanced) όσο και οι μη ισορροπημένες (unbalanced) συνδέσεις εξόδων με τις αντίστοιχες εισόδους των υπό μέτρηση συσκευών (DUT) προκειμένου να υπάρχει σωστή προσαρμογή του σήματος. Η έξοδος της γεννήτριας πολλές φορές χρειάζεται να απομονωθεί από τη γη μέσα από έναν μετασχηματιστή ή με κάποια άλλη τεχνική, ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία ανεπιθύμητου βρόγχου γείωσης (ground loop) και εισαγωγή θορύβου στο DUT. Επιπλέον, θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα επιλογής διαφόρων σύνθετων αντιστάσεων εξόδου της γεννήτριας, προκειμένου να μετρούνται οι συμπεριφορές του DUT όταν αυτό οδηγείται μέσα από διαφορετικές σύνθετες αντιστάσεις της πηγής. Τελικά, ως αποτέλεσμα αυτών των απαιτήσεων, καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι μια γεννήτρια μετρήσεων ακουστικών συχνοτήτων θα πρέπει να έχει ένα βασικό κύκλωμα ταλαντωτών ακολουθούμενο από έναν ενισχυτή ισχύος, έναν εξασθενητή (attenuator), έναν ελεγκτή μεταβλητού κέρδους, διατάξεις προσαρμογής (εξισορρόπησης) με μεταβλητές σύνθετες αντιστάσεις εξόδου (βλ. σχήμα 2.2α).

Μέχρι τώρα αναφερθήκαμε μόνο στην παραγωγή κυματομορφών ημιτόνου ενώ γνωρίζουμε, ότι υπάρχουν γεννήτριες συχνοτήτων για ακουστικές μετρήσεις που έχουν επίσης την ικανότητα παραγωγής πιο σύνθετων σημάτων όπως τα τετραγωνικά σήματα, ζευγάρια ημιτόνων για την εξέταση παραμόρφωσης της ενδοδιαμόρφωσης, λευκό και ροζ θόρυβο, ελεγχόμενες ριπές (burst) του ημιτονοειδούς σή-

ματος και μία ποικιλία από σήματα παραγόμενα με ψηφιακό τρόπο. Οι ριπές ημιτόνων χρησιμοποιούνται συχνά για τις μετρήσεις απόκρισης των μεγάλων σε μεταβατικές καταστάσεις. Οι ριπές ημιτόνου είναι επίσης χρήσιμες για τις δοκιμές των συμπιεστών (compressors) και των περιοριστών (limiters).

2.1.7 Βαθμονόμηση πλάτους

Από τη στιγμή που το ημίτονο είναι η πιο βασική κυματομορφή και η τεχνική χρήσης της ενεργούς τιμής (RMS) είναι στην πραγματικότητα ο πιο χρήσιμος τρόπος καθορισμού του πλάτους των σημάτων, η έξοδος μίας γεννήτριας ημιτόνου είναι σχεδόν αμετάβλητη από την άποψη της τιμής RMS της κυματομορφής. Για τις σύνθετες κυματομορφές, είναι πιο συνηθισμένη η βαθμονόμηση του πλάτους εξόδου των γεννητριών σε τιμές RMS ενός ημιτονοειδούς κύματος που θα έχει την ίδια μέγιστη τιμή (peak value). Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι μια γεννήτρια ημιτονοειδών σημάτων είναι ρυθμισμένη για μια στάθμη εξόδου του 1.000 V (RMS). Όπως είναι γνωστό, η τιμή κορυφής του ημιτονοειδούς κύματος θα είναι 1.414 V (η 2.828 V, peak-to-peak). Για οποιαδήποτε άλλη κυματομορφή που θα επιλεγεί στην ίδια ενδεικτική στάθμη του 1.000 V, η οποιαδήποτε άλλη κυματομορφή θα έχει επίσης τιμή κορυφής στα 1.414 V (2.828 V peak – to – peak).

Το πλεονέκτημα αυτού του τρόπου βαθμονόμησης είναι, ότι εάν το πλάτος του ημιτονοειδούς σήματος ρυθμιστεί να είναι κάτω από το επίπεδο ψαλιδίσματος του DUT, η συσκευή δεν θα ψαλιδίσει τότε για οποιοδήποτε άλλη κυματομορφή που θα επιλεγεί από εκεί και πέρα. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι η ενδεικτική τιμή του 1.000 V δεν είναι η ενεργό τιμή οπουδήποτε άλλου σήματος εκτός από του ημιτονοειδούς. Εάν, για παράδειγμα, επιλέξουμε ένα τετραγωνικό σήμα, η ενεργό τιμή του θα είναι μεγαλύτερη από την ενδεικνυόμενη τιμή δεδομένου, ότι ένα τετραγωνικό σήμα θα έχει συντελεστή κορύφωσης (crest factor¹) ίσο με 1.000. Τα περισσότερα άλλα σύνθετα σή-

1. Είναι ο λόγος της μέγιστης τιμής του σήματος (peak) προς την ενεργό τιμή του (RMS).

ματα θα έχουν τις τιμές RMS αρκετά μικρότερες από το 1.000, δεδομένου ότι ο συντελεστής κορύφωσης των περισσότερων κυματομορφών είναι μεγαλύτερος από τον συντελεστή κορύφωσης ενός ημιτονοειδούς κύματος.

2.1.8 Βασικά κριτήρια για την επιλογή γεννητριών ακουστικών σημάτων

Τα σημαντικότερα κριτήρια για την επιλογή μεταξύ των γεννητριών ακουστικών σημάτων είναι:

- εύρος συχνοτήτων,
- εύρος πλάτους,
- παραμένουσα παραμόρφωση,
- απόλυτη ακρίβεια της βαθμονόμησης πλάτους,
- σχετική γραμμική απόκριση συχνότητας σε οποιοδήποτε στάθμη,
- απόλυτη ακρίβεια της βαθμονόμησης συχνότητας

Υπάρχουν και επιπλέον χαρακτηριστικά όπως οι επιλέξιμες αντιστάσεις, η ισορροπημένη/μη ισορροπημένη διαμόρφωση, η διαμόρφωση, κ.λπ. Οι καλύτερες ακουστικές γεννήτριες είναι ήδη διαθέσιμες από το 1993 και έχουν φάσμα συχνοτήτων που κυμαίνεται από 10 ή 20 Hz στο χαμηλότερο σημείο μέχρι και 100 kHz ή και περισσότερο στο υψηλότερο σημείο, έχουν μέγιστο εύρος από +28 έως +30 dBm, και ελάχιστο εύρος - 70 έως - 90 dBm, με διαστρέβλωση από 0.0005% έως 0.003%, απόλυτη ακρίβεια από 0.1 έως 0.2 DB, και της λειότητας απόκρισης συχνότητας ± 0.05 DB ή και καλύτερα. Οι συγκεκριμένες απαιτήσεις θα καθοριστούν από την συγκεκριμένη κάθε φορά εφαρμογή. Ωστόσο πολλοί μηχανικοί προτιμούν να αγοράζουν τον εξοπλισμό δοκιμής με την υψηλότερη ποιότητα, έτσι ώστε μπορεί να συνεχίσει να υπηρετεί τις ανάγκες τους για πολλά χρόνια καθώς η κατάσταση προόδου βελτιώνεται.