

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Αριθμός 1150**

**Μελέτη και μετρήσεις θορύβου
σε γραμμές επικοινωνίας και γραμμές ισχύος**

**Study and measurements of noise
in communication and power lines**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:
ΒΑΜΒΑΚΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:
ΜΠΙΣΔΟΥΝΗΣ ΛΑΜΠΡΟΣ**

ΠΑΤΡΑ ΜΑΡΤΙΟΣ 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μέρος 1ο. Θα γίνει μια θεωρητική ανάπτυξη της έννοιας του θορύβου (τι είναι θόρυβος, σε ποιες περιπτώσεις εμφανίζεται, τι επιπτώσεις έχει, πως αντιμετωπίζεται κλπ).

Μέρος 2ο. Περιγραφή της συσκευής μέτρησης θορύβου *NOISE SEARCH TESTER 3144-20* (λειτουργίες, δυνατότητες, μετάφραση του *manual* λειτουργίας).

Μέρος 3ο. Σχετικές μετρήσεις θορύβου με το *NOISE SEARCH TESTER 3144-20*, διατύπωση αποτελεσμάτων, συμπεράσματα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή 4

Κεφάλαιο 2 – Θόρυβος 5

2.1 Γενικά – Ορισμοί 5

2.2 Εξωτερικός θόρυβος 8

2.3 Ατμοσφαιρικός θόρυβος 8

2.4 Εξωγήινος θόρυβος 9

2.5 Βιομηχανικός θόρυβος 10

2.6 Εσωτερικός θόρυβος 11

2.7 Θερμικός θόρυβος ή Johnson–Nyquist θόρυβος 11

2.8 Θόρυβος βολής ή στιγμιαίος (Shot noise) 15

2.9 Θόρυβος Μεταβλητού Χρόνου (Transit-time) 17

2.10 Ετερογενής (Ανάμεικτος) Θόρυβος ή θόρυβος flicker ή $1/f$ ή θόρυβος απόσβεσης 18

2.11 Λευκός θόρυβος και ροζ θόρυβος 19

2.12 Signal-to-noise Ratio 20

2.13 Αντιμετώπιση θορύβου με μεθόδους υλισμικού και λογισμικού 24

2.14 Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές μεταξύ καλωδίων 26

2.15 Θωράκιση (shielding) 31

2.16 Θόρυβος κατά τη ζεύξη μονάδων 32

2.17 Μείωση εύρους διέλευσης συχνοτήτων 35

2.18 Μεταφορά του σήματος σε υψηλές συχνότητες 35

Κεφάλαιο 3 – Σύντομη παρουσίαση του οργάνου 37

Κεφάλαιο 4 – Μετρήσεις, συμπεράσματα 47

4.1 Απλό probe – Θωρακισμένο probe 47

4.2 Συνεχόμενη λειτουργία μοτερ – διακοπτόμενη λειτουργία μοτερ 49

4.3 Λάμπες φθορισμού αναμμένοι – σβηστοί 52

4.4 Άλλες μετρήσεις 54

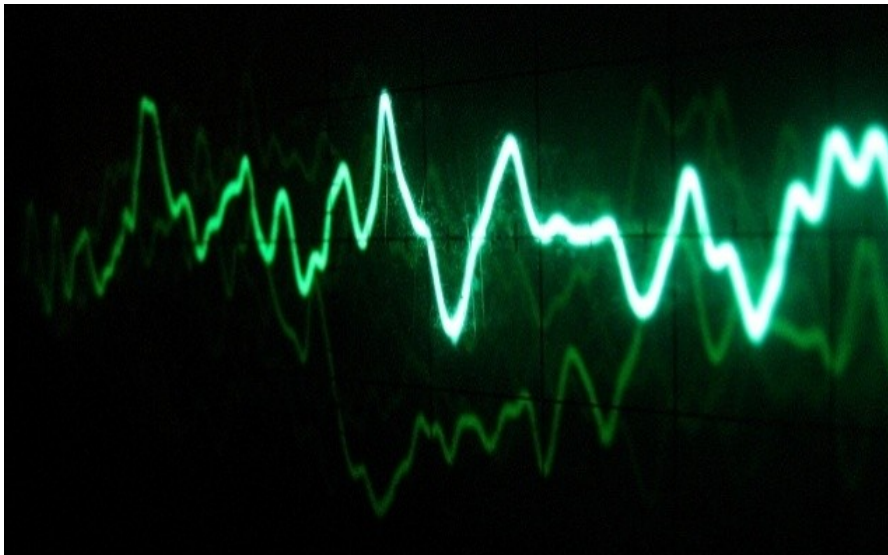
Βιβλιογραφία 57

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Ο θόρυβος είναι παντού γύρω μας σε όλα τα είδη των εντύπων. Στην κοινή χρήση της λέξης, ο θόρυβος αναφέρεται σε ήχο. Ωστόσο, ο θόρυβος μπορεί με μεγαλύτερη ακρίβεια να θεωρηθεί ως τυχαίες διακυμάνσεις που είναι πάντα παρούσες σε ένα ή περισσότερα μέρη από οποιοδήποτε μέγεθος, όπως τάση, ρεύμα, ή ακόμα και δεδομένα. Αντί να σκεφτόμαστε το θόρυβο μόνο ως ένα ακουστικό όρο, θα πρέπει να θεωρηθεί περισσότερο ως ένα τυχαίο σήμα.

Ο θόρυβος μπορεί να έχει εγγενείς διακυμάνσεις σε κάποιο μέρος ενός συστήματος (δηλ. θερμοκρασία σε ένα συγκεκριμένο σημείο) ή μπορεί να είναι η αναπόφευκτη παρέμβαση σε μια μέτρηση, από εξωτερικές πηγές (π.χ. δονήσεις από μια κοντινή γεννήτρια θαμπές μετρήσεις από ένα αισθητήριο πίεσης). Η στατική παρεμβολή στο ραδιόφωνο μας, τα «χιόνια» στην τηλεόραση μας, και οι άλυτες κορυφές σε μια υπέρυθρη φασματοσκοπική έκθεση είναι όλα παραδείγματα θορύβου.



Η μελέτη του θορύβου έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια και είναι πλέον αναγκαία, εάν λάβουμε υπόψη την εξέλιξη στον τομέα των ηλεκτρονικών συσκευών και τις διάφορες παρεμβολές που προκαλούν ή δέχονται. Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση του θορύβου πρέπει να γνωρίζουμε πρώτα από όλα την προέλευσή του. Έτσι στο εμπόριο υπάρχουν εξειδικευμένα όργανα μέτρησης και ανίχνευσης θορύβου, όπως το 3144-20 Noise search tester της Hioki.

Κεφάλαιο 2 - Θόρυβος

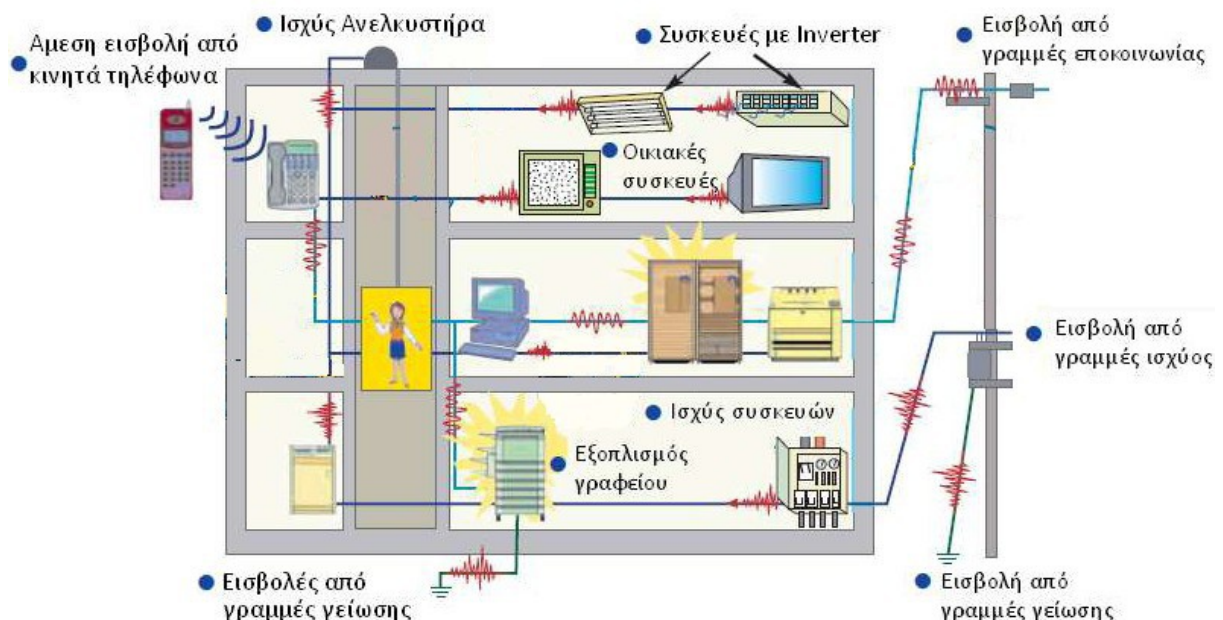
2.1 Γενικά - Ορισμοί

Ο θόρυβος (noise) ορίζεται σαν ένα ανεπιθύμητο σήμα, που υπάρχει πάντοτε στα συστήματα τηλεπικοινωνιών και γραμμών ισχύος, και δυσκολεύει την ανάκτηση της πληροφορίας στο δέκτη. Η μελέτη του θορύβου είναι αναγκαία, αφού αυτός αποτελεί έναν από τους καθοριστικότερους παράγοντες της ποιότητας ενός συστήματος. Παρόμοιο ρόλο με το θόρυβο παίζει και η παρεμβολή (interference), όμως υπάρχει μια βασική διαφορά μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, ενώ ο θόρυβος είναι ένα σύνολο τυχαίων σημάτων με ανεξάρτητες φάσεις και συχνότητες, η παρεμβολή προέρχεται από ένα καθορισμένο σήμα και δίνει ένα σήμα με κάποια περιοδικότητας και φάσης.

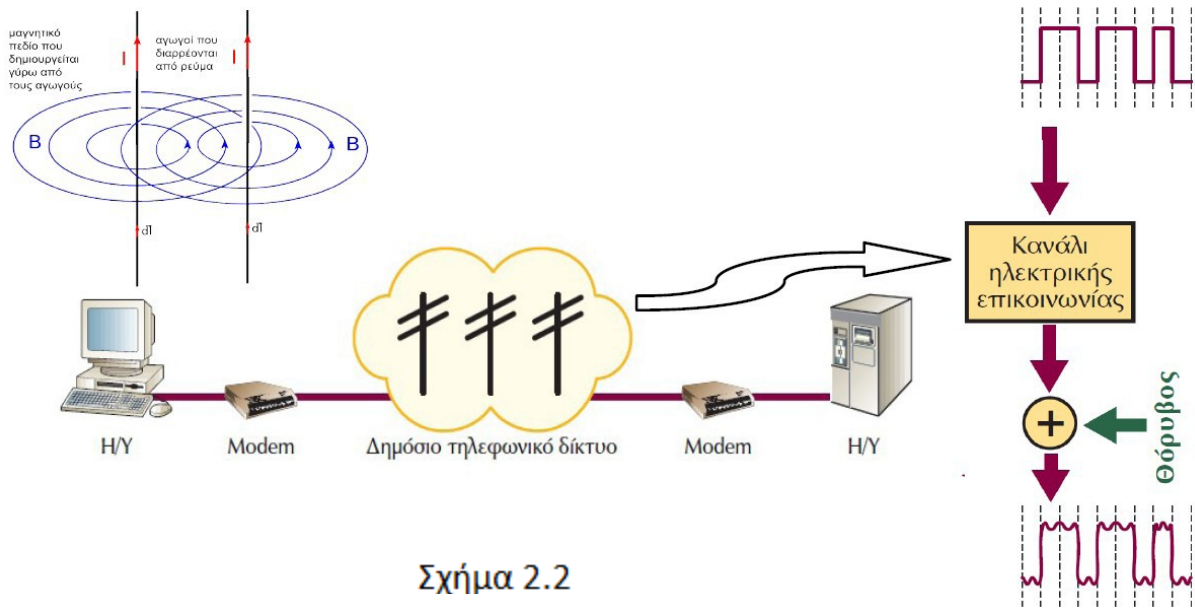
Οι πηγές που παράγουν θόρυβο ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, από τις οποίες η πρώτη περιλαμβάνει τον τεχνητό (artificial ή man made noise) και η δεύτερη το φυσικό (natural) θόρυβο. Ο τεχνητός θόρυβος προέρχεται από ηλεκτρικές συσκευές όπως συλλέκτες κινητήρων, διακόπτες και ηλεκτρονόμους κακών επαφών, συστήματα ανάφλεξης αυτοκινήτων και μηχανών, οικιακές ηλεκτρικές συσκευές κ.λ.π. Όλες αυτές οι ηλεκτρικές συσκευές παράγουν ανεπιθύμητα ηλεκτρικά σήματα, τα οποία μπορούν να εντοπιστούν και να απαλειφθούν ή τουλάχιστον να περιοριστούν.

Εισβολή θορύβου σε γραμμές τροφοδοσίας ισχύος και γραμμές επικοινωνίας

- Πηγές θορύβου : γραμμές τροφοδοσίας, ηλεκτρικές ράγες, μηχανές με inverter, CB radio εκπομποί.
- Περάσματα μεταφοράς : μέσω γραμμών επικοινωνίας, γραμμών τροφοδοσίας κλπ.
- Περάσματα εισβολής : γραμμές τηλεπικοινωνιών, γραμμές τροφοδοσίας, γραμμές γείωσης, ή άμεση διείσδυση σε μια συσκευή

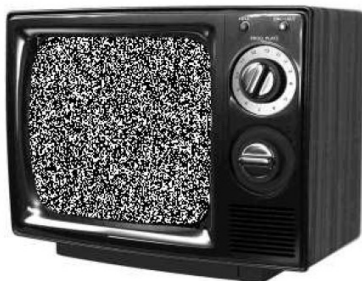


Σχήμα 2.1



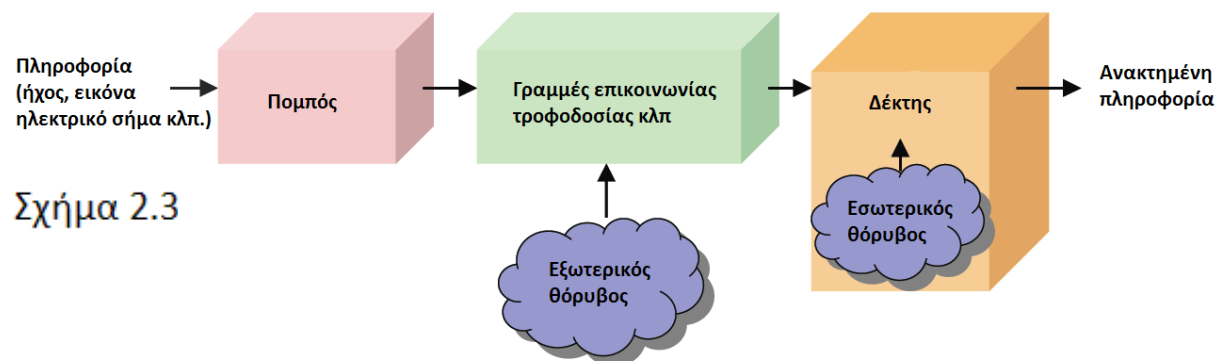
Σχήμα 2.2

Ο φυσικός θόρυβος διακρίνεται στο θόρυβο που έχει ως πηγή του την κοσμική ακτινοβολία ή την ατμόσφαιρα και στο θόρυβο που έχει ως πηγή τα ηλεκτρονικά κυκλώματα και στοιχεία. Ο κοσμικός και ατμοσφαιρικός θόρυβος εισάγεται στο δέκτη με την κεραία και ο μιν πρώτος προέρχεται από ηλιακές ακτινοβολίες ή από ακτινοβολίες αστερών των γαλαξιών, ο δε δεύτερος από ατμοσφαιρικές διαταραχές, καταιγίδες κ.λ.π. Ο κοσμικός και ατμοσφαιρικός θόρυβος, που είναι γνωστός και σαν θερμοκρασία ουράνιου θορύβου (*sky noise temperature*), είναι ασήμαντος σε σχέση μ' εκείνον που παράγεται από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα.



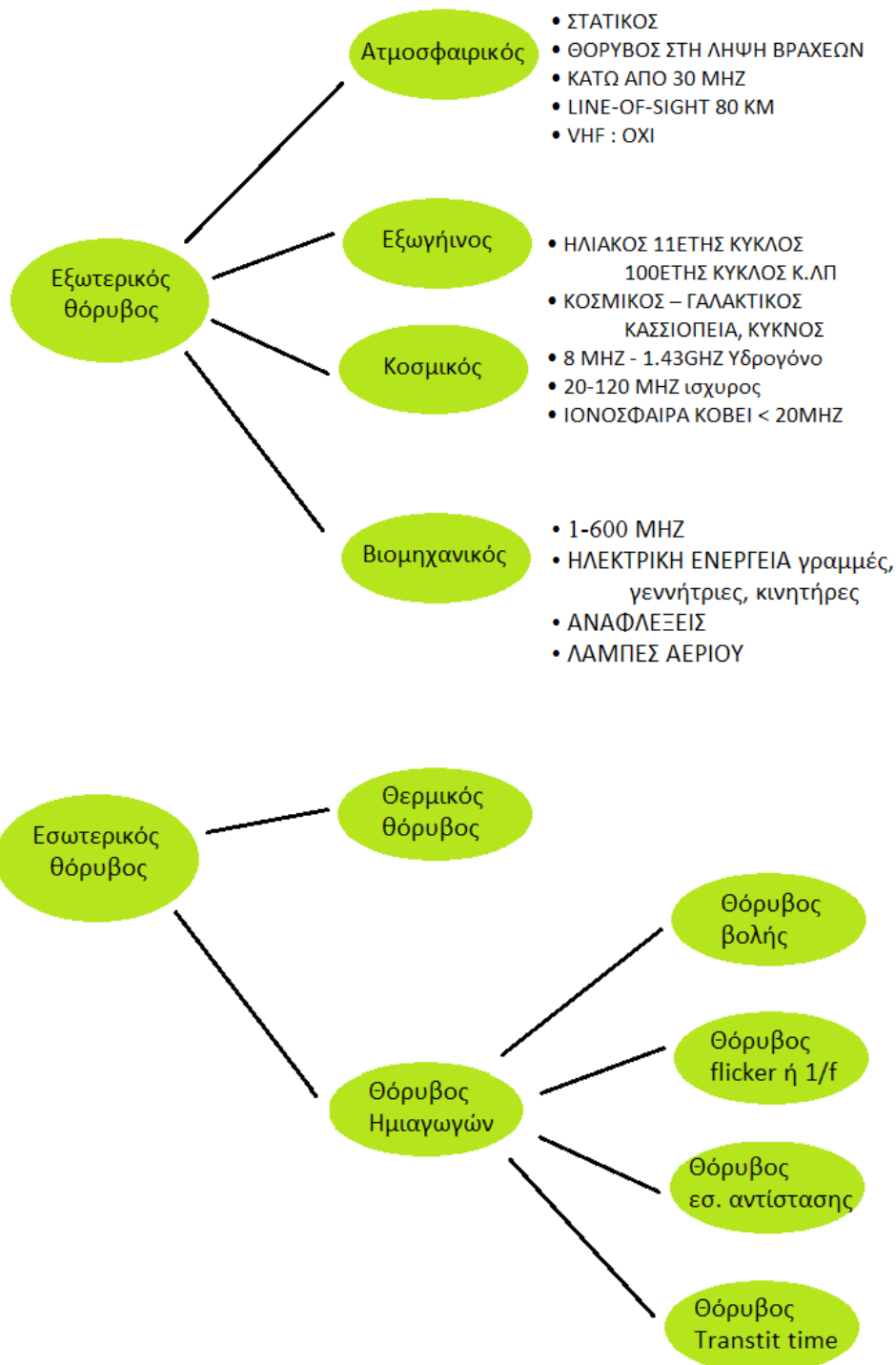
Ο θόρυβος λοιπόν υπάρχει παντού σε γραμμές επικοινωνίας, σε γραμμές τροφοδοσίας κλπ και παίρνει διάφορες μορφές όπως για παράδειγμα :
στο ραδιόφωνο : hiss
Στο τηλέφωνο : σκρατς
στην τηλεόραση : χιόνι

Πιο συγκεκριμένα τα είδη των θορύβων διαχωρίζονται σε εξωτερικό θόρυβο και σε εσωτερικό θόρυβο. Ο εξωτερικός θόρυβος είναι τα ανεπιθύμητα σήματα που εισάγονται σε ένα σύστημα από το περιβάλλον, ενώ ο εσωτερικός θόρυβος είναι τα σήματα που δημιουργούνται σε ένα σύστημα κατά τη λειτουργία του.



Σχήμα 2.3

Υπάρχουν πολλοί τρόποι ταξινόμησης του θορύβου. Μπορεί να υποδιαιρεθεί ανάλογα με κάποιες προϋποθέσεις σύμφωνα με τον τύπο, την πηγή, την επίδραση ή την σχέση με τον δέκτη. Είναι ωστόσο πιο εύκολο να χωρίσουμε τον θόρυβο σε δύο μεγάλες κατηγορίες : στο θόρυβο του οποίου οι πηγές βρίσκονται έξω από τον δέκτη (εξωτερικός) και στον θόρυβο που δημιουργείται μέσα στον δέκτη (εσωτερικός).



Στα παλμικά επικοινωνιακά συστήματα, ο θόρυβος μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητους παλμούς ή ακόμα και να εξαφανίσει τους σωστούς προκαλώντας σοβαρά προβλήματα με αυτόν τον τρόπο. Επομένως αντιμετωπίζουμε τον θόρυβο σαν το μέσο ώστε να μειωθεί η λειτουργία των συστημάτων για μια δεδομένη μεταφερόμενη ισχύς. Μπορεί επίσης να επηρεάσει την ευαισθησία των δεκτών, βάζοντας ένα όριο ενίσχυσης στα ασθενέστερα σήματα. Μερικές φορές μπορεί ακόμα και να βιάσει μια μείωση στο εύρος ζώνης του συστήματος, όπου θα φανεί στο ραντάρ.

Από την μία πλευρά ο εξωτερικός θόρυβος είναι δύσκολο να επεξεργαστεί ποσοτικά και επιπλέον συχνά δεν μπορεί να γίνει κάτι γι αυτό, εκτός από το να μετακινηθεί το σύστημα σε άλλη τοποθεσία. Παρατηρείστε πως τα ραδιοτηλεσκόπια τοποθετούνται μακριά από την βιομηχανία, της οποίας η ανάπτυξη συνέβαλλε στην δημιουργία ηλεκτρικού θορύβου. Παγκόσμιοι δορυφορικοί σταθμοί της γης είναι εγκατεστημένοι σε κοιλάδες όσο το δυνατόν απομακρυσμένες από θορύβους. Από την άλλη πλευρά ο εσωτερικός θόρυβος είναι περισσότερο ποσοτικοποιημένος και μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας ένα δέκτη κατάλληλου σχήματος.

2.2 Εξωτερικός θόρυβος

Ο θόρυβος περιβάλλοντος (environmental noise) ή θόρυβος παρεμβολής (interference noise) αποτελεί τυπική περίπτωση εξωγενούς, μη θεμελιώδους θορύβου και κατά κανόνα ανθρωπογενούς προέλευσης. Είναι γνωστό ότι η επιτάχυνση φορέων ηλεκτρικού φορτίου (π.χ. ηλεκτρονίων) έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Έτσι, π.χ., στις γραμμές ηλεκτρικής τροφοδοσίας, που περιβάλλουν κάθε χώρο διαβίωσης και εργασίας, ηλεκτρικά φορτία υπόκεινται σε αρμονικές ταλαντώσεις 50 Hz (συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου). Οι γραμμές αυτές δρουν ως κεραίες εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας 50 Hz. Η ακτινοβολία αυτή “συλλαμβάνεται” επαγωγικά από κάθε αθωράκιστο αγωγό, ο οποίος δρα ως κεραία λήψης. Ο θόρυβος των 50 Hz συνοδεύεται και από τις αρμονικές συχνότητες 100, 150, 200 Hz κ.ο.κ. με συνεχώς μειούμενο πλάτος.

Ηλεκτρικές εκκενώσεις (π.χ. ατμοσφαιρικά φαινόμενα, σπινθηριστές μηχανών εσωτερικής καύσης) προκαλούν την εμφάνιση παροδικού θορύβου σε ευρύτατο πλάτος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Σε υψηλότερες συχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, εμφανίζονται θόρυβοι στην περιοχή ραδιοφωνικών συχνοτήτων και των μικροκυμάτων, που οφείλονται σε πομπούς ραδιοφωνίας και τηλεόρασης, σε συσκευές διαθερμίας και μικροκυμάτων, στην κινητή τηλεφωνία, ραντάρ κ.λπ.

Οι θόρυβοι περιβάλλοντος αντιμετωπίζονται με διάφορες τεχνικές υλισμικού, (hardware) όπως με σχολαστική θωράκιση των ευαίσθητων μονάδων, χρησιμοποίηση φίλτρων αποκοπής ζώνης συχνοτήτων ή με “μεταφορά” της πληροφορίας σε σχετικά “ήσυχες” περιοχές συχνοτήτων.

2.3 Ατμοσφαιρικός θόρυβος

Ίσως ο καλύτερος τρόπος να εξοικειωθεί κανείς με τον θόρυβο είναι να ακούσει τα μικροκύματα (shortwaves) στον δέκτη, ο οποίος δεν είναι καλά εξοπλισμένος ώστε να τα δέχεται. Αυτό που θα ακούσουμε είναι μια εκπληκτική ποικιλία από περιέργους θορύβους που τείνουν να εισχωρήσουν μέσα στο πρόγραμμα. Οι περισσότεροι από αυτούς είναι το αποτέλεσμα λανθασμένων ραδιοφωνικών κυμάτων που προκαλούν τάσεις στην κεραία. Η πλειονότητα αυτών των κυμάτων προέρχεται από διαταραχές φυσικών πηγών, και αποτελούν τον ατμοσφαιρικό θόρυβο που γενικά καλείται και στατικός.

Στατικός θόρυβος προκαλείται από τις ξαφνικές εκκενώσεις των καταιγίδων και από άλλες φυσικές ηλεκτρικές διαταραχές που εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα. Εξαιτίας του ότι η προέλευση του στατικού θορύβου έχει αυθόρμητη μορφή (impulses) και επειδή τέτοιες

διαδικασίες παρουσιάζονται σπάνια στη φύση, ο στατικός θόρυβος είναι διασκορπισμένος σε όλο το ραδιοφωνικό φάσμα που χρησιμοποιείται για μετάδοση. Επομένως ο ατμοσφαιρικός θόρυβος αποτελείται από ψευδή ραδιοσήματα με συνιστώσες κατανομημένες σε μια ευρεία κλίμακα συχνοτήτων. Ο θόρυβος αυτός είναι διαδομένος πάνω στη γη με τον ίδιο τρόπο που είναι διαδομένα και τα ραδιοκύματα των ίδιων συχνοτήτων, έτσι ώστε σε κάθε σημείο της γης ο στατικός θόρυβος μπορεί να ληφθεί από όλες τις καταιγίδες, κοντινές ή μακρινές. Ο στατικός θόρυβος που λαμβάνεται από τις καταιγίδες είναι πιθανώς πιο έντονος αλλά λιγότερο συχνός. Η δύναμη πεδίου είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογη της συχνότητας, έτσι ώστε ο θόρυβος αυτός να εμπλέκεται περισσότερο στην λήψη του ραδιοφώνου από ότι στη λήψη της τηλεόρασης. Ένας τέτοιος θόρυβος έχει αυθόρμητη μορφή (impulses) και αυτά τα μη ημιτονικά κύματα έχουν αρμονικές των οποίων το πλάτος ελαττώνεται με αύξηση της αρμονικής. Ο στατικός θόρυβος από απομακρυσμένες πηγές θα ποικίλει σε ένταση σύμφωνα με τις μεταβολές στις εκπεμπόμενες συνθήκες. Έτσι έχουμε αύξηση του στατικού θορύβου την νύχτα τόσο στις εκπεμπόμενες όσο και στις μικροκυματικές συχνότητες.

Ο ατμοσφαιρικός θόρυβος γίνεται λιγότερο έντονος σε συχνότητες πάνω από 30MHz εξαιτίας δύο ξεχωριστών παραγόντων. Πρώτον, οι υψηλές συχνότητες είναι περιορισμένες σε ευθεία οπτική εκπομπή δηλαδή λιγότερο από 80 χιλιόμετρα. Δεύτερον, ο μηχανισμός που παράγει τον θόρυβο είναι τέτοιος ώστε μια πολύ μικρή αναλογία θορύβου να δημιουργείται στο εύρος των πολύ υψηλών συχνοτήτων και παραπάνω.

2.4 Εξωγήινος Θόρυβος

Είναι υπερβολή να πούμε ότι υπάρχουν τόσοι τύποι διαστημικού θορύβου όσες και πηγές θορύβου. Για ευκολία, η διαίρεση σε δύο υποκατηγορίες είναι αρκετή.

Ηλιακός θόρυβος. Ο ήλιος στέλνει διάφορα αντικείμενα στη γη και ανάμεσα σε αυτά είναι και ο θόρυβος. Πάλι υπάρχουν δύο τύποι. Κάτω από κανονικές "ήπιες" συνθήκες, υπάρχει ένας σταθερός ακτινοβολούμενος θόρυβος από τον ήλιο, αυτό οφείλεται στο ότι ο ήλιος είναι ένα μεγάλο σώμα με μεγάλη θερμοκρασία (πάνω από 6000 °C στην επιφάνεια του). Επομένως ακτινοβολεί σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων όπου εκεί συμπεριλαμβάνονται οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται στις επικοινωνίες. Ωστόσο ο ήλιος είναι ένα μεταβαλλόμενο αστέρι που υποβάλλεται σε κύκλους, στην κορυφή των οποίων ξεσπούν ηλεκτρικές διαταραχές, όπως φλεγόμενα στεφάνια και ηλιακές κηλίδες. Αν και ο προσθετικός θόρυβος που παράγεται προέρχεται από μια μικρή αναλογία του ηλιακού δίσκου, έχει τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από εκείνη την ποσότητα θορύβου που παράγεται κατά την διάρκεια που ο ήλιος παραμένει ήσυχος.

Ο ηλιακός κύκλος επαναλαμβάνει περιόδους μεγάλων ηλεκτρικών διαταραχών περίπου κάθε 11 χρόνια. Επιπλέον αν προσπαθήσουμε να ζωγραφίσουμε μια γραμμή που να διέρχεται από τις 11 κορυφές των κύκλων αυτών θα δούμε ότι σχηματίζεται ένας μεγαλύτερος κύκλος, με τις κορυφές να φτάνουν υψηλότερο μέγιστο περίπου κάθε 100 χρόνια. Τελικά αυτές οι κορυφές των 100 χρόνων τείνουν να αυξάνονται σε ένταση. Εφόσον υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των κορυφών της ηλιακής διαταραχής και των δακτυλίων ετησίων δέντρων (growth rings in trees) ήταν δυνατόν να ανιχνεύσουμε αυτές τις κορυφές στις αρχές του 18^{ου} αιώνα. Στοιχεία έχουν δείξει ότι το 1957 όχι μόνο υπήρξε μια κορυφή αλλά η μεγαλύτερη κορυφή που έχει καταγραφεί.

Κοσμικός θόρυβος. Τυχαίος θόρυβος που προέρχεται από το εξωτερικό της ατμόσφαιρας της γης. Τα χαρακτηριστικά του κοσμικού θορύβου είναι παρόμοια με αυτά του θερμικού θορύβου. Ο κοσμικός θόρυβος παρουσιάζεται όταν ιδιαίτερα κατευθυντικές κεραιές κεντράρουν προς τον ήλιο ή σε συγκεκριμένες άλλες περιφέρειες του ουρανού όπως άλλοι Γαλαξίες.

Εφόσον τα αστέρια λάμπουν και έχουν υψηλές θερμοκρασίες, επομένως και αυτά εκπέμπουν θόρυβο κατά τον ίδιο τρόπο που εκπέμπει και ο ήλιος. Αν και βρίσκονται μακριά το ένα με το άλλο, ωστόσο είναι τόσα πολλά σε αριθμό που η μεταξύ τους απόσταση δεν επηρεάζει την εκπομπή του θορύβου. Έτσι ο θόρυβος που λαμβάνουμε καλείται θερμικός θόρυβος και είναι κατανεμημένος ομοιόμορφα στον ουρανό. Λαμβάνουμε επίσης θόρυβο από το κέντρο του δικού μας γαλαξία (Milky Way), από άλλους γαλαξίες καθώς επίσης και από φανταστικές πηγές όπως είναι οι "quasars" και "pulsars". Αυτός ο γαλαξιακός θόρυβος είναι πολύ έντονος, όμως προέρχεται από πηγές που είναι απλά σημεία στον ουρανό. Δύο από τις πιο ισχυρές πηγές οι οποίες είναι και αυτές που ανακαλύφθηκαν πιο πρόσφατα είναι οι Cassiopeia A και Cygnus A. Ωστόσο είναι απερίσκεπτα να μιλάμε για θορύβους με ραδιοαστρονόμους καθώς αυτοί θεωρούν σημαντική πληροφορία οτιδήποτε εμείς θεωρούμε θόρυβο.

Ο θόρυβος του διαστήματος είναι παρατηρήσιμος σε συχνότητες από 8MHz μέχρι λίγο παραπάνω από 1.43GHz, την συχνότητα δηλαδή που αντιστοιχεί στην γραμμή του υδρογόνου. Εκτός από τον θόρυβο που προκαλείται από τον άνθρωπο, ο διαστημικός θόρυβος είναι εντονότερος στις συχνότητες από 20MHz ως 120MHz. Όχι πολύ κάτω από 20MHz ο θόρυβος αυτός διεισδύει μέσα στην ιονόσφαιρα ενώ η εξαφάνιση του στις συχνότητες 1.5GHz πιθανώς ελέγχεται από τους μηχανισμούς που τον παράγουν και από την απορρόφηση που υφίσταται από τον υδρογόνο σε διαστημικό διάστημα.

2.5 Βιομηχανικός Θόρυβος

Μεταξύ των συχνοτήτων 1 έως 600MHz, στις αστικές, προαστιακές και άλλες βιομηχανικές περιοχές, η ένταση του θορύβου που προκαλεί ο άνθρωπος, εύκολα ξεπερνά κάθε άλλο θόρυβο εσωτερικό ή εξωτερικό από τον δέκτη. Ο βιομηχανικός θόρυβος περιλαμβάνει πηγές θορύβου όπως το αυτοκίνητο, η ανάφλεξη του αεροσκάφους, ηλεκτρικές μηχανές και μηχανές ταχυτήτων, διαρροές από γραμμές υψηλών τάσεων και ένα μεγάλο αριθμό από βαριές ηλεκτρικές μηχανές. Οι λάμπες φθορισμού αποτελούν ισχυρή πηγή βιομηχανικού θορύβου και για το λόγο αυτό δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε σημεία λήψης ή δοκιμών σήματος. Ο θόρυβος παράγεται από εκκενώσεις (arc discharge) που είναι παρόν σε όλες τις λειτουργίες, και κάτω από αυτές τις συνθήκες είναι αναμενόμενο ότι αυτός ο θόρυβος θα είναι περισσότερο έντονος σε βιομηχανικές και πυκνοκατοικημένες περιοχές. (ως ενθάρρυνση αξίζει να πούμε ότι ο βιομηχανικός θόρυβος που οφείλεται σε εκκενώσεις με σπινθήρες (spark discharge) μπορεί ακόμα και να μεγαλώσει σε έκταση τους ωκεανούς, όπως περιγράφηκε από τον Marconi το 1901).

Η φύση του βιομηχανικού θορύβου είναι τόσο μεταβλητή που είναι δύσκολο να την αναλύσουμε σε οποιαδήποτε βάση εκτός της στατιστικής. Υπακούει ωστόσο στη γενική αρχή του θορύβου που λέει ότι ο λαμβανόμενος θόρυβος αυξάνεται καθώς το εύρος ζώνης αυξάνει.

2.6 Εσωτερικός Θόρυβος

Με τον τίτλο εσωτερικός θόρυβος θα συζητήσουμε το θόρυβο που παράγεται από κάθε ενεργή ή παθητική συσκευή που βρίσκεται μέσα στον δέκτη. Ένας τέτοιος θόρυβος είναι γενικά τυχαίος και αυτό τον κάνει να μην μπορεί να μελετηθεί σε κάποια ανεξάρτητη στάθμη τάσης παρά μόνο στατιστικά. Επειδή ο εσωτερικός θόρυβος είναι τυχαία κατανομημένος σε ολόκληρο το φάσμα συχνοτήτων τότε κατά μέσο όρο υπάρχει τόσος θόρυβος σε μία συχνότητα όσο και σε μια άλλη. Έτσι η ισχύς του τυχαίου θορύβου είναι ανάλογη του εύρους ζώνης που μετράμε.

Τα δύο σημαντικότερα είδη θορύβων, τα οποία συνδέονται με τα ηλεκτρονικά στοιχεία (αντιστάσεις, λυχνίες, transistors) είναι ο θερμικός θόρυβος (Thermal noise) και ο θόρυβος βολής (Shot noise). Ο πρώτος παράγεται από την τυχαία κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων των αγωγών, κίνηση η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αγωγού και παράγει ένα ρεύμα μέσα στον αγωγό, έτσι ώστε ακόμη και όταν δεν υπάρχει ρεύμα στον αγωγό, όταν αυτός είναι ανοικτοκυκλωμένος, η τυχαία κίνηση των ηλεκτρονίων παράγει διακυμάνσεις της διαφοράς δυναμικού στα άκρα του αγωγού, η οποία μετρείται με τη μέση τετραγωνική τιμή.

Ο θόρυβος βολής οφείλεται κατά βάση στις τυχαίες διακυμάνσεις της εκπομπής των ηλεκτρονίων από την κάθοδο μιας λυχνίας ή στις τυχαίες μεταβολές στη διάχυση των φορέων φορτίων σε μια δίοδο ή ένα transistor. Ο θόρυβος των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων οφείλεται στη φύση των στοιχείων, από τα οποία αποτελούνται, και δεν είναι δυνατόν να απαλειφθεί. Παρόλα αυτά, ο θόρυβος πρέπει να μελετηθεί καλά, ώστε να περιοριστεί με κατάλληλη επιλογή των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Στα περισσότερα συστήματα τηλεπικοινωνιών το συνηθισμένο κριτήριο καλής ποιότητας είναι ο λόγος της ισχύος του σήματος προς την ισχύ του θορύβου (Signal to Noise Ratio, S/N, SNR) στην έξοδο του φωρατή. Το κριτήριο αυτό αποτελεί συχνά τη βάση σύγκρισης των διαφόρων συστημάτων τηλεπικοινωνιών, καθώς αυτά μπορεί να διαφέρουν σ' ένα πλήθος άλλων τεχνικών χαρακτηριστικών, τα οποία καθιστούν τη σύγκριση τους πολύ δύσκολη.

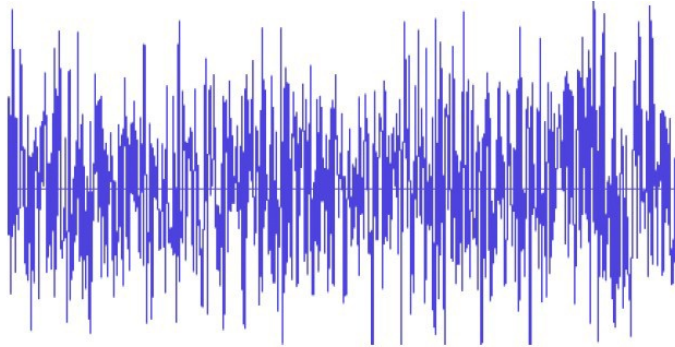
2.7 Θερμικός θόρυβος ή Johnson–Nyquist θόρυβος

Το 1928, στο εργαστήριο του Bell Telephone ο John B. Johnson δημοσιοποίησε την εργασία "*Thermal Agitation of Electricity in Conductors*". (Θερμική διέγερση του ηλεκτρικού ρεύματος σε αγωγούς). Στις τηλεπικοινωνίες ή σε άλλα συστήματα, ο θερμικός θόρυβος είναι ο θόρυβος που παράγεται από τη θερμική διέγερση των ηλεκτρονίων σε έναν αγωγό. Η εργασία του John B. Johnson παρουσίασε μια στατιστική διακύμανση του ηλεκτρικού φορτίου που συμβαίνει σε όλους τους ηλεκτρικούς αγωγούς, παράγοντας μια τυχαία παραλλαγή του δυναμικού μεταξύ των άκρων του αγωγού (όπως παράδειγμα στα θερμοζεύγη). Η ισχύς του θερμικού θορύβου, ανά Hertz, είναι ίση σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων. Ο Johnson επισήμανε ότι ο θερμικός θόρυβος είναι εγγενής σε όλες τις αντιστάσεις και δεν είναι σημάδι ανεπαρκούς σχεδιασμού ή κατασκευής, αν και κάποιες αντιστάσεις μπορεί να παρουσιάζουν υπερβολικό θόρυβο.

Ο Harry Nyquist παρέλαβε το IRE Medal of Honor το 1960, για την "θεμελιώδη συμβολή του στην ποσοτική κατανόηση του θερμικού θορύβου, μετάδοση δεδομένων και αρνητική ανάδραση." Τον Οκτώβριο του 1960 βραβεύτηκε με το Stuart Ballantine Medal of the Franklin Institute για τις "θεωρητικές του αναλύσεις και πρακτικές εφευρέσεις στον τομέα των συστημάτων επικοινωνιών κατά τα τελευταία σαράντα χρόνια, κυρίως συμπεριλαμβανομένων, του πρωτότυπου έργου του στις θεωρίες των τηλεγραφικών μεταδόσεων, του θερμικού θορύβου σε ηλεκτρικούς αγωγούς, και στην ιστορία των συστημάτων ανάδρασης." Το 1969 βραβεύτηκε με το [National Academy of Engineering's](#) fourth Founder's Medal ως αναγνώριση της μεγάλης θεμελιώδους συνεισφοράς του στην

εφαρμοσμένη μηχανική.

Ο Θερμικός θόρυβος λοιπόν, είναι ο θόρυβος που παράγεται από της διακυμάνσεις της ισορροπίας του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα σε έναν ηλεκτρικό αγωγό, που συμβαίνει ανεξάρτητα από οποιαδήποτε εφαρμοζόμενη τάση, και οφείλεται στην τυχαία θερμική κίνηση των φορέων φορτίου (ηλεκτρόνια)



Θερμική τάση του θορύβου ως συνάρτηση του χρόνου

Ο θερμικός θόρυβος μετρήθηκε πρώτα από τον J.B.Johnson στο εργαστήριο του Bell Labs το 1928. Αυτός περιέγραψε την ανακάλυψη του στον H.Nyquist, επίσης στο Bell Labs, που μπόρεσε να εξηγήσει τα αποτελέσματα απορρέοντας μια σχέση ανάμεσα στην διακύμανση και τη διάχυση.

Σχήμα 2.4

Ο θερμικός θόρυβος υπάρχει πάντοτε στα άκρα μιας αντίστασης, ανεξάρτητα του εάν η ίδια διαρρέεται ή όχι από ηλεκτρικό ρεύμα. Η φύση του θερμικού θορύβου είναι καθαρά τυχαία, όπως ακριβώς η κατεύθυνση και η απόσταση, που μπορούν να κινηθούν τα ηλεκτρικά φορτία, απουσία ηλεκτρικού πεδίου. Δηλαδή, δεν υπάρχει συγκεκριμένη προτίμηση για μια πολικότητα, ένα πλάτος ή μια συχνότητα. Για τους λόγους αυτούς ο θερμικός θόρυβος είναι τυπικό παράδειγμα θεμελιώδους (λευκού), κανονικού θορύβου.

Ο θερμικός θόρυβος διακρίνεται από τον στιγμιαίο θόρυβο (shot noise), ο οποίος αποτελείται από περισσότερες διακυμάνσεις του ρεύματος που συμβαίνουν όταν μια τάση εφαρμόζεται και ένα μακροσκοπικό ρεύμα αρχίζει να ρέει. Σε γενικές περιπτώσεις, ο παραπάνω ορισμός ισχύει για φορείς φορτίου για κάθε τύπου αγωγούς. (π.χ. ιόντα σε ηλεκτρολύτες)

Ο θόρυβος που αναπτύσσεται πάνω σε μια αντίσταση ή σε ένα ωμικό στοιχείο μιας σύνθετης αντίστασης, είναι τυχαίος και αναφέρεται με διάφορους χαρακτηρισμούς όπως θερμικός, θερμική διαταραχή, λευκός ή Johnson θόρυβος. Οφείλεται στην γρήγορη και τυχαία κίνηση των μορίων, ατόμων και ηλεκτρονίων από τα οποία αποτελείται κάθε αντίσταση. Ο θερμικός θόρυβος αντιμετωπίζεται με μείωση του εύρους συχνοτήτων των μονάδων, αποφυγή χρήσης μεγάλων τιμών αντιστάσεων και σε ορισμένες περιπτώσεις με κατάψυξη κρίσιμων τμημάτων των κυκλωμάτων.

Στην θερμοδυναμική, η κινητική θεωρία δείχνει ότι η θερμοκρασία ενός σωματιδίου είναι ένας τρόπος να εκφράσει την εσωτερική του κινητική ενέργεια. Έτσι η θερμοκρασία ενός σώματος φανερώνει την στατιστική τετραγωνική μέση τιμή (rms) της ταχύτητας των σωματιδίων στο σώμα. Όπως δηλώνει η θεωρία, η κινητική ενέργεια αυτών των σωματιδίων γίνεται περίπου μηδέν (η κίνηση τους σταματάει) στην θερμοκρασία του απόλυτου μηδέν, το οποίο είναι το 0 K (kelvins, άλλοτε καλούνται βαθμοί Kelvin) που ισοδυναμεί με -273°C . Επομένως είναι φανερό ότι η ισχύς θορύβου που παράγεται από μία αντίσταση είναι ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας, και ανάλογη του εύρους ζώνης στο οποίο μετράμε το θόρυβο.

Αν μια συνηθισμένη αντίσταση με μια συγκεκριμένη θερμοκρασία στους 17°C (290K) δεν συνδέεται σε πηγή τάσης, μπορεί κανείς στην αρχή να πιστέψει ότι δεν υπάρχει τάση να μετρήσουμε στα άκρα της. Η δήλωση αυτή είναι σωστή αν το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιούμε μετράει συνεχής τάση, όμως η δήλωση είναι λάθος αν το όργανο μέτρησης είναι ένα πολύ ευαίσθητο βολτόμετρο. Η αντίσταση είναι μια γεννήτρια θορύβου και ενδεχομένως να έχει μεγάλη τάση στα άκρα της. Αν αυτή η τάση είναι τυχαία και έχει συγκεκριμένη rms τιμή αλλά όχι συνεχής συνιστώσα, μόνο ένα όργανο που μετράει εναλλασσόμενες τάσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καταγράψει την τιμή της. Ο θόρυβος τάσης δημιουργείται από την τυχαία κίνηση των ηλεκτρονίων μέσα στην αντίσταση. Η κίνηση αυτή των ηλεκτρονίων είναι το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση. Είναι γεγονός ότι ο ίδιος αριθμός ηλεκτρονίων φτάνει και στα δύο άκρα της αντίστασης σε κάθε περίοδο του χρόνου. Αν και σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι πιθανό να φτάνει διαφορετικός αριθμός ηλεκτρονίων στο ένα άκρο της αντίστασης από ότι στο άλλο ακριβώς διότι η κίνηση των ηλεκτρονίων είναι τυχαία. Τόσο ο ρυθμός άφιξης των ηλεκτρονίων όσο και η διαφορά δυναμικού στα άκρα της αντίστασης ποικίλει. Επομένως τυχαία τάση στην αντίσταση υφίσταται και μπορεί να μετρηθεί και να υπολογιστεί.

Πρέπει να καταλάβουμε ότι όλοι οι τύποι που αναφέρονται στο θόρυβο είναι εφαρμόσιμοι μόνο στην rms τιμή ενός τέτοιου θορύβου και όχι στην στιγμιαία τιμή του η οποία μπορεί να είναι απρόβλεπτη. Τώρα όσον αφορά τις κορυφές του θορύβου τάσης, αυτό που μπορούμε να πούμε είναι ότι δεν μπορούν να υπερβαίνουν σε τιμή 10 φορές την rms τιμή.

Η ισχύς του θερμικού θορύβου, P , σε watts, δίνεται από τη σχέση

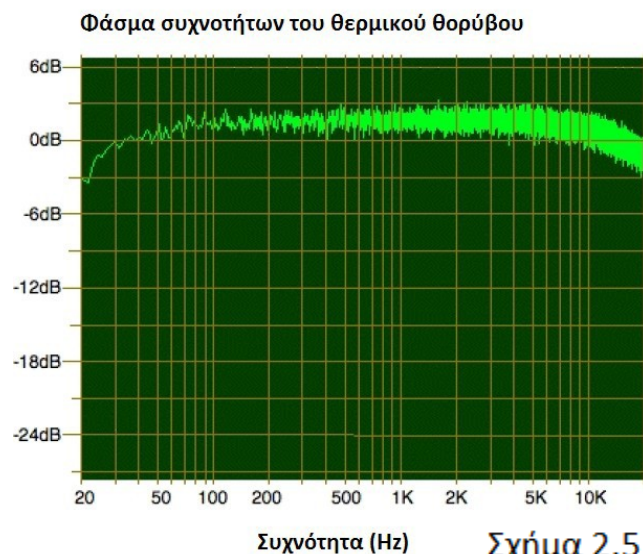
$P=4kBT\Delta f$, όπου :

kB είναι η σταθερά Boltzmann σε joule ανά Kelvin,

T είναι η θερμοκρασία του αγωγού σε Kelvin και

Δf είναι το εύρος ζώνης σε Hz.

Η ισχύς του θερμικού θορύβου ανά Hz είναι ίση σε όλο το φάσμα συχνοτήτων και εξαρτάται από τη σταθερά kB και την θερμοκρασία T .



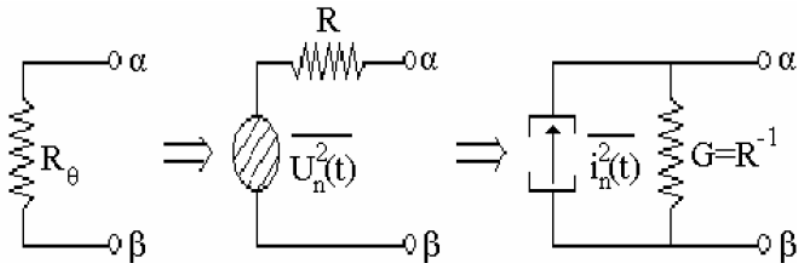
Όπως το λευκό φως περιέχει όλα τα χρώματα, έτσι και ο λευκός θόρυβος περιέχει μια ίση στάθμιση όλων των συχνοτήτων. Γιαυτό ο θερμικός θόρυβος λέγεται και λευκός θόρυβος ή θόρυβος Gaussian.

Στις επικοινωνίες, η ισχύς του θορύβου συχνά χρησιμοποιείται. Ο θερμικός θόρυβος σε θερμοκρασία δωματίου εκτιμάται σε decibel : $P = -174 + 10\log(\Delta f)$

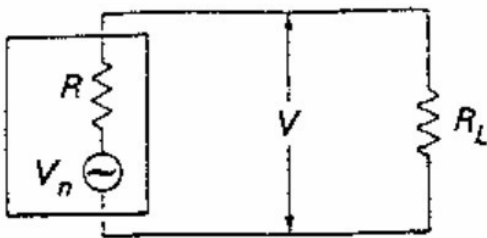
Όπου P υπολογίζεται σε dBm ($0\text{dBm} = 1\text{mW}$) και το Δf είναι το εύρος συχνοτήτων σε Hz.

Ο θερμικός θόρυβος είναι εγγενής σε όλες τις αντιστάσεις και δεν είναι σημάδι κακής κατασκευής ή δυσλειτουργίας. Κάποιες αντιστάσεις ωστόσο μπορεί να παρουσιάζουν υπερβολικό θόρυβο.

Μια αντίσταση $R\theta$ που παράγει θόρυβο μπορεί να παρασταθεί, είτε με μια πηγή τάσης σε σειρά με μια "αθόρυβη" αντίσταση R , είτε με μια πηγή ρεύματος παράλληλα με μια "αθόρυβη" αγωγιμότητα $G = 1/R$, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6. Σημειώνεται ότι οι αντιστάσεις $R\theta$ και R έχουν την ίδια τιμή και η μόνη διαφορά τους είναι ότι η πρώτη παράγει θερμικό θόρυβο, ενώ η δεύτερη όχι.



Σχήμα 2.6 Ισοδύναμα Thevenin και Norton μιας ενθόρυβης αντίστασης $R\theta$.



Σχήμα 2.7 Αντίσταση ως γεννήτρια θορύβου

Οι ηλεκτρονικοί μηχανικοί συχνά προτιμούν να δουλεύουν με τους όρους της τάσης θορύβου πάνω στην αντίσταση (v_n) και του ρεύματος θορύβου που ρέει στην αντίσταση (i_n). Αυτά επίσης εξαρτώνται από την ηλεκτρική αντίσταση του αγωγού :

$$V_n = \sqrt{4k_B T R \Delta f}$$

$$i_n = \sqrt{\frac{4k_B T \Delta f}{R}}$$

Ο θερμικός θόρυβος

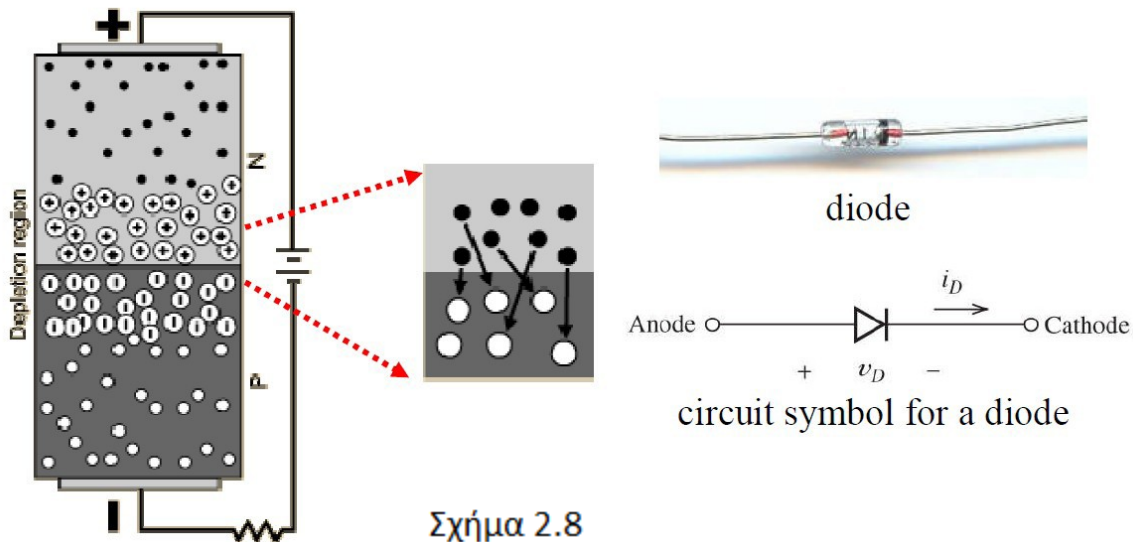
αντιμετωπίζεται με μείωση του εύρους συχνοτήτων των μονάδων, αποφυγή χρήσης μεγάλων τιμών αντιστάσεων και σε ορισμένες περιπτώσεις με κατάψυξη κρίσιμων τμημάτων των κυκλωμάτων.

2.8 Θόρυβος βολής ή στιγμιαίος (Shot noise)

Ο θόρυβος βολής (shot noise) περιγράφηκε από τον Schottky και είναι θεμελιώδης θόρυβος, που εμφανίζεται, όποτε φορτισμένα σωματίδια διέρχονται μέσω επαφών $p-n$ (σε διόδους και τρανζίστορ) ή καταφθάνουν σε επιφάνειες ηλεκτροδίων (π.χ. ηλεκτρόνια στις ανόδους λυχνιών κενού, φωτολυχνιών και φωτοπολλαπλασιαστών).

Η θερμική διέγερση είναι αναμφισβήτητα η μοναδική πηγή θορύβου στους δέκτες. Το σημαντικότερο όλων των άλλων πηγών είναι το shot αποτέλεσμα, το οποίο οδηγεί στον shot θόρυβο σε όλα τα ενισχυτικά στοιχεία και ουσιαστικά σε όλες τα ενεργά στοιχεία. Ο θόρυβος βολής αποτελείται από τυχαίες διακυμάνσεις του ηλεκτρικού ρεύματος σε έναν ηλεκτρικό αγωγό, που προκαλούνται από το γεγονός ότι το ρεύμα φέρεται από διακριτά

φορτία (ηλεκτρόνια). Η ισχύς αυτού του θορύβου αυξάνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος του μέσου ρεύματος που ρέει σε έναν αγωγό. Ο θόρυβος αυτός δημιουργείται από τις τυχαίες μεταβολές στις αφίξεις των ηλεκτρονίων (ή οπών) στο εξωτερικό ηλεκτρόδιο του ενισχυτικού στοιχείου και με τον τρόπο αυτό εμφανίζεται στην έξοδο ένας τυχαίος μεταβαλλόμενος θόρυβος ρεύματος ο οποίος λαμβάνεται ενισχυμένος. Όταν ο θόρυβος ενισχύεται, υποτίθεται ότι αυτό που ακούγεται είναι μια βροχή από σφαίρες να πέφτουν πάνω σε μια μεταλλική επιφάνεια, γι αυτό το λόγο ονομάζεται shot θόρυβος.



Σχήμα 2.8

Ο θόρυβος βολής είναι μια διαδικασία Poisson και οι φορείς φορτίων που δημιουργούν το ρεύμα, ακολουθούν μια Poisson διανομή. Η ισχύς των διακυμάνσεων του ρεύματος μπορούν να εκφραστούν από τη διακύμανση του ρεύματος I , όπου $\langle I \rangle$ είναι το μέσο «μακροσκοπικό» ρεύμα.

$$\langle (I - \langle I \rangle)^2 \rangle$$

Αν και η μέση τιμή του ρεύματος εξόδου ενός στοιχείου ελέγχεται από την διάφορες τάσεις πόλωσης, σε κάθε χρονική στιγμή ενδέχεται να φτάνουν λιγότερα ή περισσότερα ηλεκτρόνια στο εξωτερικό ηλεκτρόδιο. Στα διπολικά τρανζίστορ, για παράδειγμα, το φαινόμενο αυτό είναι κυρίως αποτέλεσμα της τυχαίας κατεύθυνσης του ρεύματος δια μέσου των διασταυρώσεων. Οι διαδρομές που ακολουθούνται είναι τυχαίες επομένως και άνισες, έτσι ώστε, αν και ο μέσος όρος του ρεύματος στο συλλέκτης είναι σταθερός, ωστόσο προκαλούνται μικρές μεταβολές. Ο Shot θόρυβος συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο όπως και ο θερμικός θόρυβος με την μοναδική διαφορά ότι παράγεται από διαφορετική πηγή.

Πολλές μεταβλητές περιλαμβάνονται στην δημιουργία αυτού του θορύβου στις διάφορες ενισχυτικές συσκευές, και συνήθως χρησιμοποιούμε προσεγγιστικές εξισώσεις για τις μεταβλητές αυτές. Επιπλέον είναι δύσκολο με υπολογισμούς να προσθέσουμε ρεύμα shot θορύβου σε θερμικό θόρυβο τάσης, οπότε για όλες τις συσκευές εκτός της διόδου, οι τύποι shot θορύβου που χρησιμοποιούνται είναι γενικά απλοποιημένοι. Για την διόδο ο τύπος είναι

$$i_n = \sqrt{2ei_p \delta f}$$

όπου i_n = rms τιμή του ρεύματος του shot noise

e = φορτίο του ηλεκτρονίου = $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$

i_p = συνεχές ρεύμα διόδου

df = εύρος ζώνης του συστήματος

Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις όχι μόνο ο τύπος είναι απλουστευμένος αλλά δεν υπάρχει τύπος για shot θόρυβο ρεύματος. Ο μοναδικός τρόπος για να χειριστούμε τον shot θόρυβο είναι να βρούμε την τιμή ή τον τύπο μιας ισοδύναμης αντίστασης εσωτερικού θορύβου. Η αντίσταση αυτή προηγείται της συσκευής, η οποία υποθέτουμε ότι είναι απαλλαγμένη από κάθε θόρυβο και έχει τέτοια τιμή ώστε το ίδιο ποσό θορύβου βρίσκεται τόσο στην έξοδο του ισοδύναμου συστήματος όσο και στον πρακτικό ενισχυτή, έτσι ο θόρυβος ρεύματος έχει αντικατασταθεί από μια αντίσταση, επομένως τώρα είναι εύκολο να προσθέσουμε shot θόρυβο στον θερμικό θόρυβο.

Η τιμή της ισοδύναμης αντίστασης shot θορύβου R_{eq} μιας συσκευής δίνεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Προσεγγιστικοί τύποι για ισοδύναμες αντιστάσεις shot θορύβου είναι επίσης διαθέσιμες και δείχνουν ότι ένας τέτοιος θόρυβος είναι αντιστρόφως ανάλογος της υπεραγωγιμότητας και ανάλογος του ρεύματος εξόδου. Όσον αφορά την χρήση της R_{eq} το σημαντικό που θα πρέπει να καταλάβουμε είναι ότι αυτή η αντίσταση είναι μια φανταστική αντίσταση που ουσιαστικά χρησιμοποιείται για την απλούστευση των υπολογισμών για τον shot θόρυβο. Σύμφωνα με αυτό, για το θόρυβο μόνο, η αντίσταση αυτή συμπεριφέρεται σαν να ήταν μια κανονική αντίσταση παραγωγής αντίστασης, με την ίδια θερμοκρασία όπως και οι άλλες αντιστάσεις, και τοποθετημένη σε σειρά με το εσωτερικό ηλεκτρόδιο της συσκευής.

Χαμηλού θορύβου ηλεκτρονικές συσκευές είναι έτσι σχεδιασμένες ώστε ο θόρυβος βολής να καταστέλλεται από την ηλεκτροστατική απώθηση των φορέων φορτίου. Ο θόρυβος βολής στις οπτικές συσκευές ονομάζεται κβαντικός θόρυβος. Ο περιορισμός της φόρτισης δεν είναι δυνατός σε συσκευές φωτονίου.

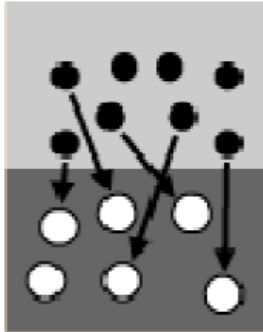
Από τα προηγούμενα συμπεραίνεται ότι ο θόρυβος βολής οφείλεται στον διακριτό χαρακτήρα των ηλεκτρικών φορτίων και συνεπώς των ρευμάτων και των τάσεων. Ένας αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισής του είναι η αντικατάσταση των απλών μετρήσεων της τρέχουσας τιμής του μεγέθους, με το αποτέλεσμα της ολοκλήρωσης της τιμής του για ένα σχετικά μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Γενικά, ο θόρυβος βολής έχει τα ίδια φασματικά χαρακτηριστικά με τον θερμικό θόρυβο (λευκός θόρυβος ενδογενούς προέλευσης) και κατά κανόνα οι RMS τιμές του είναι αρκετά μικρότερες από εκείνες του θερμικού θορύβου. Γενικά ο θόρυβος βολής μπορεί να αγνοηθεί, εκτός από τις περιπτώσεις των φωτολυχνιών και των φωτοπολλαπλασιαστών, όπου πολλές φορές μπορεί να είναι και ο καθοριστικός παράγοντας επαναληψιμότητας των μετρήσεων.

2.9 Θόρυβος Μεταβλητού Χρόνου (Transit-time)

Εάν ο χρόνος που χρειάζεται ένα ηλεκτρόνιο να μεταφερθεί από τον εκπομπό στον συλλέκτη ενός τρανζίστορ γίνει συγκρίσιμος με την περίοδο του σήματος το οποίο ενισχύεται, π.χ., σε συχνότητες μεγαλύτερες και πέραν της κλίμακας των VHF (Very High Frequency), η επίδραση του αποκαλούμενου μεταβλητού χρόνου λαμβάνει χώρα, και ο θόρυβος εισόδου του τρανζίστορ αυξάνει. Τη στιγμή που τα ρεύματα στην είσοδο της συσκευής επηρεάζονται από τυχαίες διακυμάνσεις, τα ρεύματα στην έξοδο αποτελούν σημαντικό παράγοντα για αυτές τις συχνότητες και δημιουργούν τυχαίο θόρυβο.

Αυτός ο θόρυβος υψηλής συχνότητας κάνει την παρουσία του αισθητή, τείνει να αυξάνει με συχνότητα σε έναν ρυθμό ο οποίος σύντομα προσεγγίζει τα 6 desibels (6 dB) ανά οκτάβα, και αυτός ο τυχαίος θόρυβος γρήγορα στη συνέχεια επικρατεί ως προς τα άλλα είδη. Το αποτέλεσμα από όλα αυτά είναι το γεγονός ότι είναι προτιμότερο να μετράμε το θόρυβο σε τέτοιες υψηλές συχνότητες, από το να προσπαθούμε να υπολογίσουμε έναν εισαγόμενο ισοδύναμο θόρυβο αντίστασης για αυτό. Παρ' όλα αυτά, τα τρανζίστορ

ραδιοφωνικής συχνότητας (RF) προσδίδουν αξιόλογα χαμηλό θόρυβο. Μια εικόνα θορύβου τόσο χαμηλός όσο 1 dB είναι πιθανό με τη χρήση ενισχυτικών τρανζίστορ να μεταπηδήσει στην κλίμακα των UHF (Ultra High Frequency).



Ο χρόνος που απαιτείται να διασχίσει την PN - διασταύρωση είναι κοντά στην περίοδο (T) του σήματος.

Σχήμα 2.9

2.10 Ετερογενής (Ανάμεικτος) Θόρυβος ή θόρυβος flicker ή 1/f ή θόρυβος απόσβεσης.

Θόρυβος flicker σε συνάρτηση με το χρόνο



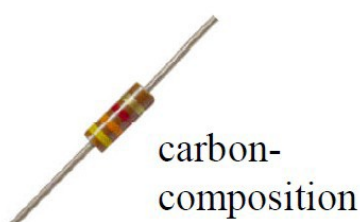
Στις χαμηλές ακουστικές συχνότητες, ένας ελάχιστος αντιληπτός τύπος θορύβου ο οποίος ονομάζεται flicker ή αλλιώς θόρυβος διαμόρφωσης (modulation noise) εμφανίζεται στα τρανζίστορ. Είναι ανάλογος προς το ρεύμα του εκπομπού και της [θερμοκρασίας junction], αλλά από τη στιγμή που είναι επίσης αντίστροφα ανάλογος της

Σχήμα 2.10 συχνότητας, μπορεί να αγνοηθεί πλήρως για συχνότητες που υπερβαίνουν τα 500 Hz. Από εκεί και πέρα δεν είναι πολύ σοβαρό.

Θόρυβος flicker παρουσιάζεται επίσης σε αγωγούς και αντιστάσεις.

Θόρυβος flicker για διάφορους τύπους αντιστάσεων **Σχήμα 2.11**

Type of resistor	Noise voltage range (μV)
Carbon-composition	0.1-3.0
Carbon-film	0.05-0.3
Metal-film	0.02-0.2
Wire-wound	0.01-0.2



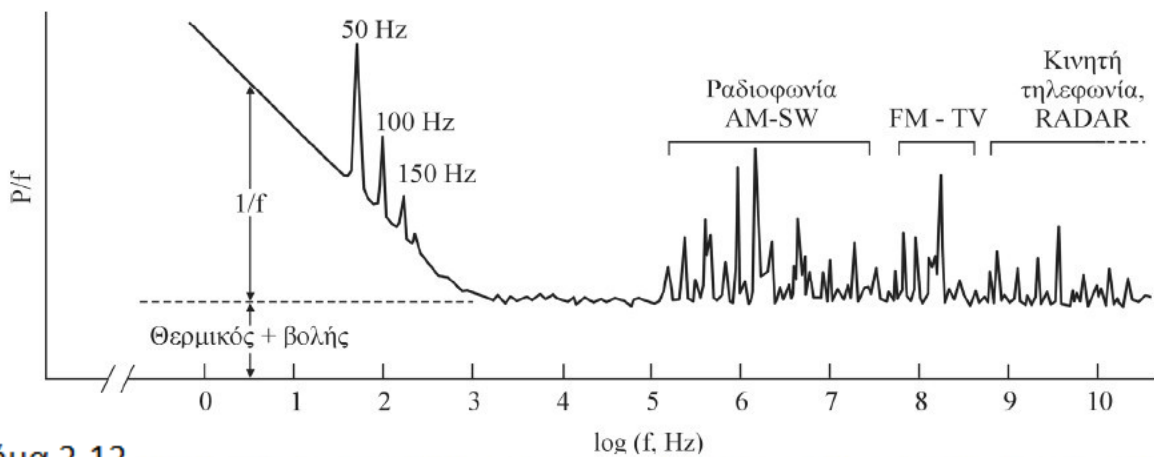
Ο θόρυβος 1/f ή θόρυβος flicker (to flicker: τρεμοσβύνω) είναι ένας ενδογενής θόρυβος η προέλευση του οποίου ακόμη δεν είναι βέβαιη. Θα μπορούσε να αποδοθεί σε διαδοχικές διασπάσεις-επανασυνδέσεις ηλεκτρονίων-οπών και αναμένεται ιδιαίτερα έντονος στους ημιαγωγούς. Ωστόσο, εμφανίζεται και όπου υπάρχουν συμπλέγματα διαφορετικών ατόμων, όπως στα υλικά κατασκευής των φωτοκαθόδων και όπου υπάρχουν κοκκώδη υλικά, όπως στις αντιστάσεις άνθρακα και για τον περιορισμό του χρησιμοποιούνται, όποτε είναι δυνατόν, αντιστάσεις περιελιγμένου σύρματος.

Ονομάζεται θόρυβος 1/f επειδή εμφανίζεται ιδιαίτερα έντονος σε σήματα χαμηλών συχνοτήτων και η ισχύς του είναι ανάλογη του 1/f εις την n, όπου f είναι η συχνότητα του σήματος και n μια σταθερά σχεδόν ίση με 1 ($0,9 \leq n \leq 1,35$).

Η παρουσία του θορύβου 1/f έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της εικόνας θορύβου των ενισχυτών στις χαμηλές συχνότητες. Υπερισχύει των άλλων θεμελιωδών θορύβων σε συχνότητες κάτω από 300 Hz, ενώ η παρουσία του είναι σχεδόν αμελητέα σε σήματα με συχνότητες μεγαλύτερες από 1 kHz. Γενικά, το φαινόμενο της ολίσθησης της απολαβής των

ενισχυτών DC θεωρείται ως μια εκδήλωση του θορύβου $1/f$. Κατά την ενίσχυση χαμηλόσυχων ασθενών σημάτων, ο θόρυβος $1/f$ υφίσταται ίση ενίσχυση, οπότε δεν είναι δυνατόν να επέλθει καμία ουσιαστική βελτίωση του λόγου S/N. Η κατάσταση αντιμετωπίζεται με “μεταφορά” της πληροφορίας του σήματος σε υψηλές συχνότητες, π.χ. με διαμόρφωση (modulation) ενός υψίσυχου σήματος, όπου το υψίσυχο πλέον σήμα μπορεί να ενισχυθεί χωρίς εισαγωγή θορύβου $1/f$. Στη συνέχεια το σήμα επαναφέρεται στις αρχικές συχνότητες με συγχρονισμένη αποδιαμόρφωση (synchronous demodulation). Στην αρχή αυτή βασίζεται η λειτουργία των ενισχυτών lock-in.

Τυπικό φάσμα πυκνότητας ισχύος (P/f) ηλεκτρικών θορύβων διαφορετικών προελεύσεων δείχνεται στο Σχήμα 2.12. Είναι χαρακτηριστική η έντονη παρουσία του θορύβου $1/f$ στις χαμηλές συχνότητες, η σταθερή παρουσία λευκού θορύβου (θερμικός θόρυβος + θόρυβος βολής), όπως και οι διάφοροι μη θεμελιώδεις θόρυβοι (θόρυβοι περίσσειας). Αξίζει ακόμη να παρατηρηθεί ότι στην περιοχή 500 Hz -100 kHz κατά κανόνα υπάρχει μια περιοχή σχετικής “ηρεμίας”.



Σχήμα 2.12

Τυπικό φάσμα ισχύος υποβάθρου ηλεκτρικών θορύβων, που μπορεί να συνοδεύει το επιθυμητό σήμα. Η σχέση των πλατών και η συνεισφορά των επιμέρους θορύβων είναι υποθετική, εφόσον εξαρτάται από την περιοχή στην οποία πραγματοποιούνται οι μετρήσεις.

2.11 Λευκός θόρυβος και ροζ θόρυβος

Ο λευκός θόρυβος είναι ένα τυχαίο σήμα (ή διαδικασία) με επίπεδη φασματική πυκνότητα ισχύος. Με άλλα λόγια, η φασματική πυκνότητα ισχύος του σήματος είναι ίδια σε κάθε ζώνη, σε κάθε κέντρο συχνοτήτων με ένα δεδομένο εύρος ζώνης.

Ένα άπειρο εύρος ζώνης σήματος λευκού θορύβου είναι καθαρά θεωρητική εκτίμηση. Έχοντας ενέργεια σε όλες τις συχνότητες, η συνολική ισχύς ενός τέτοιου σήματος θα ήταν άπειρη. Στην πράξη, ένα σήμα μπορεί να χαρακτηριστεί «λευκό» με ένα επίπεδο φάσμα μέσα σε μια ορισμένη ζώνη συχνοτήτων.

Ο ροζ θόρυβος επίσης γνωστός ως $1/f$ θόρυβος, είναι ένα σήμα ή μια διαδικασία με φάσμα συχνοτήτων τέτοιο που η φασματική πυκνότητα ενέργειας είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη συχνότητα.

Υπάρχει ίση ενέργεια σε όλες τις οκτάβες. Στα πλαίσια της ισχύος σε ένα σταθερό εύρος ζώνης, ο ροζ θόρυβος πέφτει στα 3 dB για κάθε οκτάβα.

Το ανθρώπινο ακουστικό σύστημα, που χρησιμοποιεί μια περίπου λογαριθμική έννοια της συχνότητας που προσεγγίζεται με την κλίμακα Bark, δεν αντιλαμβάνεται με την ίδια ευαισθησία όλες τις αντιληπτές συχνότητες. Ωστόσο οι άνθρωποι μπορούν να ξεχωρίσουν τον ροζ από τον λευκό θόρυβο με ευκολία.

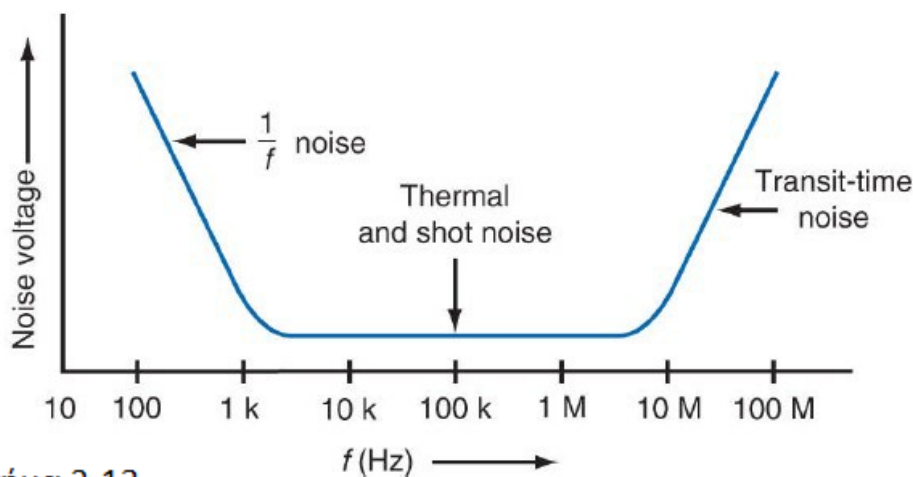
Γραφικοί ισοσταθμιστές επίσης χωρίζουν τα σήματα σε ζώνες λογαριθμικά και

εκθέτουν την ισχύ σε οκτάβες. Οι μηχανικοί ήχου βάζουν τον ροζ θόρυβο σε ένα σύστημα για να εξετάσουν άμα έχει μια επίπεδη απόκριση συχνότητας στο ωφέλιμο φάσμα.

Από πρακτική άποψη, η παραγωγή αληθινού ροζ θορύβου είναι αδύνατη, εφόσον η ενέργεια ενός τέτοιου σήματος θα ήταν άπειρη. Η ενέργεια του ροζ θορύβου σε κάθε διάστημα συχνότητας από f_1 έως f_2 είναι ανάλογη του $\log(f_2/f_1)$ και αν η f_2 είναι άπειρη, είναι άπειρη και η ενέργεια.

Πρακτικά, ο ροζ θόρυβος είναι ροζ μόνο κατά ένα συγκεκριμένο διάστημα συχνότητας. Το ίδιο ισχύει και για τον λευκό θόρυβο που συχνά χρησιμοποιείται για να παραχθεί ροζ θόρυβος με φιλτράρισμα για να αφαιρεθεί όλο και περισσότερη ενέργεια σε υψηλότερες συχνότητες (περίπου 3 dB ανά οκτάβα)

Το σύνολο τάσης του θορύβου των ημιαγωγών συσκευών ποικίλλει ανάλογα με τη συχνότητα και τους με διαφορετικούς τύπους θορύβου που επικρατούν στις διάφορες περιοχές.



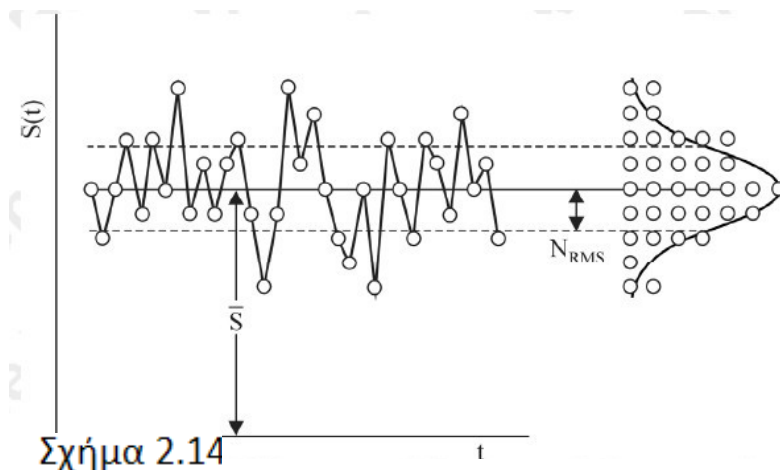
Σχήμα 2.13

2.12 Signal-to-noise Ratio

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΘΟΡΥΒΟΥ

Έστω ότι το θορυβώδες σήμα $S(t)$ έχει μέση τιμή S και εμφανίζει στιγμιαίες τιμές S_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Απόλυτο μέτρο του θορύβου του σήματος $S(t)$ είναι η **μέση τιμή τετραγώνων θορύβου** (mean square noise), NRMS και αποτελεί τη **διακύμανση** ή **μεταβλητότητα** του πληθυσμού των στιγμιαίων τιμών. Η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης, ονομάζεται ενεργή τιμή ή τιμή RMS (root mean square) του θορύβου, NRMS και ισούται με την **τυπική απόκλιση** (standard deviation, σ) του πληθυσμού των στιγμιαίων τιμών του θορυβώδους σήματος. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι θόρυβος και σφάλμα είναι έννοιες ουσιαστικά ταυτόσημες.

Στο Σχήμα 2.14 δείχνεται παραστατικά η μορφή του σήματος $S(t)$. Τα δείγματα τιμών που λαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα συνιστούν ένα πληθυσμό με **κανονική** (ή **κατά Gauss**) κατανομή (normal ή Gaussian distribution). Αυτός ο τύπος θορύβου χαρακτηρίζεται ως **κανονικός θόρυβος** (normal noise) και η μέση τιμή του είναι πάντοτε ίση με το μηδέν. Τύποι θορύβου με διαφορετικές κατανομές είναι ασυνήθιστοι, όχι όμως και απίθανοι.



Σήμα επιβαρυνμένο με κανονικό θόρυβο. Για σχεδιαστική απλούστευση και ανάδειξη της κανονικής κατανομής των δειγμάτων τιμών (κύκλοι), αυτές δείχνονται σαν να καταλαμβάνουν καθορισμένα μόνο (κβαντι-σμένα) επίπεδα τιμών.

Λόγος S/N.

Τα απόλυτα μέτρα θορύβου έχουν ελάχιστη σημασία σε ένα όργανο, όπου ο θόρυβος μαζί με το σήμα διέρχονται από τη μια μονάδα στην άλλη και υφίστανται ενισχύσεις, μειώσεις ή άλλες διεργασίες. Το ενδιαφέρον εστιάζεται κυρίως στη σχετική μεταβολή των τιμών των σημάτων αυτών. Ορίζεται ως **λόγος σήματος-προς-θόρυβο** (ή **λόγος S/N**) (Signal-to-Noise Ratio, S/N ratio, SNR) ο τεχνικός όρος που χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει την ποιότητα ενός σήματος που ανιχνεύθηκε από μια συσκευή μετρήσεων. Με άλλα λόγια είναι ένα μέγεθος που εκφράζει κατά πόσο ένα σήμα έχει διαμορφωθεί από θόρυβο.

Τύπος του Shannon (κανάλι με θόρυβο)

SNR (Signal to Noise Ratio): Λόγος σήματος προς θόρυβο (μετρείται σε decibels).

Για παράδειγμα όταν η ισχύς του σήματος είναι 1000 φορές μεγαλύτερη από την ισχύ του θορύβου, τότε ο λόγος SNR είναι 30dB.

$$10 \log_{10} \frac{1000}{1} = 30 \text{dB}, \log_{10} 10^3 = 3$$

Όταν SNR=0dB τότε ισχύς σήματος = ισχύς θορύβου

Όταν SNR=-20dB τότε ισχύς θορύβου 100 φορές μεγαλύτερη από την ισχύ του σήματος:

$$10 \log_{10} \frac{1}{100} = -20 \text{dB}, \log_{10} 10^{-2} = -2$$



Claude Elwood Shannon (1916 - 2001): Αμερικανός μαθηματικός και ηλεκτρολόγος μηχανικός

Ορίζεται ως την ισχύ του

αρχικού σήματος προς την ισχύ του θορύβου. Μια αναλογία υψηλότερη του 1:1 δηλώνει ότι η ισχύς του σήματος είναι μεγαλύτερη από την ισχύ του θορύβου. Συνήθως το SNR χρησιμοποιείται για ηλεκτρικά σήματα, ωστόσο μπορεί να εφαρμοστεί για οποιοδήποτε άλλο τύπο σήματος (όπως τα επίπεδα ισότοπου σε ένα πυρήνα πάγου ή βιοχημικές σηματοδοτήσεις).

Με λιγότερο τεχνικούς όρους, το SNR συγκρίνει το επίπεδο του επιθυμητού σήματος (όπως μουσική) με το επίπεδο του background θορύβου. Υψηλότερη αναλογία σημαίνει λιγότερο ενοχλητικός θόρυβος.

Επομένως το SNR ορίζεται έτσι:

$$\text{SNR} = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}},$$

όπου P η μέση ισχύς. Τόσο η ισχύς του σήματος όσο και η ισχύς του θορύβου θα πρέπει να μετριοούνται σε ίδιες ή ισοδύναμες μονάδες σε ένα σύστημα, και μέσα στο ίδιο εύρος ζώνης του συστήματος. Εάν το σήμα και ο θόρυβος μετριοούνται στην ίδια σύνθετη αντίσταση, τότε το SNR μπορεί να υπολογιστεί με το τετράγωνο του λόγου του πλάτους:

$$\text{SNR} = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} = \left(\frac{A_{\text{signal}}}{A_{\text{noise}}} \right)^2,$$

όπου A η rms τιμή του πλάτους (παράδειγμα rms τιμή τάσης). Επειδή πολλά σήματα έχουν ένα πολύ μεγάλο δυναμικό εύρος, το SNR εκφράζεται συχνά χρησιμοποιώντας τη λογαριθμική κλίμακα σε decibel. Σε decibel, το SNR ορίζεται ως

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} \right) = P_{\text{signal,dB}} - P_{\text{noise,dB}},$$

το οποίο μπορεί ισοδύναμα να γραφτεί χρησιμοποιώντας αναλογίες πλάτους έτσι :

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left(\frac{A_{\text{signal}}}{A_{\text{noise}}} \right)^2 = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{\text{signal}}}{A_{\text{noise}}} \right).$$

Οι έννοιες του λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR) και της δυναμικής περιοχής συνδέονται στενά. Η δυναμική περιοχή μετράει την αναλογία μεταξύ των ισχυρότερων μη-παραμορφωμένων σημάτων σε ένα κανάλι και το ελάχιστο αντιληπτό σήμα, που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι το επίπεδο του θορύβου. Το SNR μετράει την αναλογία μεταξύ ενός αυθαίρετου επιπέδου σήματος (όχι απαραίτητα το πιο ισχυρό σήμα που είναι δυνατό) και του θορύβου. Για την μέτρηση της αναλογίας σήμα προς θόρυβο, απαιτείται η επιλογή ενός αντιπροσωπευτικού σήματος ή ενός σήματος αναφοράς. Στην τεχνολογία ήχου, για παράδειγμα, το σήμα αναφοράς είναι συνήθως ένα ημιτονοειδές κύμα σε ένα τυποποιημένο ονομαστικό ή ευθυγραμμισμένο επίπεδο, όπως το 1 kHz στα +4 dBu (1,228 VRMS).

Το SNR συνήθως υπολογίζεται για να δείξει την αναλογία κατά μέσο όρο του σήματος προς το θόρυβο, καθώς είναι πιθανό (σχεδόν) στιγμιαία η αναλογία του σήματος προς το θόρυβο να είναι σημαντικά διαφορετική.

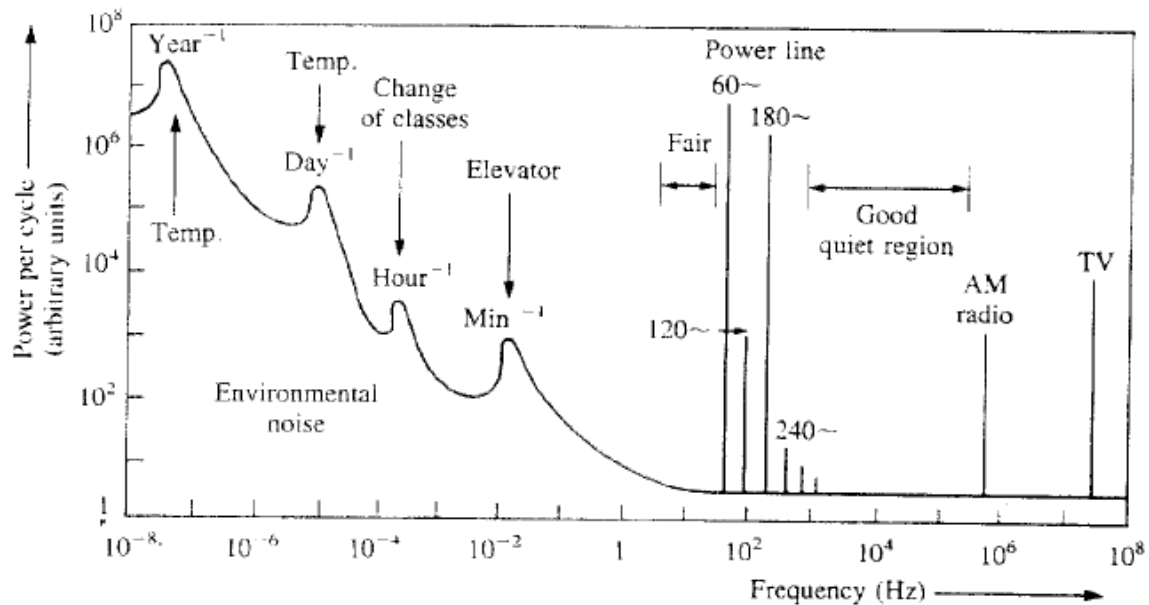
Ένας εναλλακτικός ορισμός του SNR είναι το αντίστροφο του συντελεστή μεταβλητότητας, δηλαδή, ο λόγος της μέσης με την τυπική απόκλιση ενός σήματος ή μέτρησης

$$\text{SNR} = \frac{\mu}{\sigma}$$

όπου μ είναι το μέσο σήμα ή η αναμενόμενη τιμή και σ η τυπική απόκλιση του θορύβου, ή μία εκτίμηση αυτής.

Σημειώνουμε ότι ένας τέτοιος εναλλακτικός ορισμός είναι χρήσιμος μόνο για τις μεταβλητές που είναι πάντα θετικές (όπως φωτόνιο που μετράει τη φωτεινότητα). Έτσι, συνήθως χρησιμοποιείται στην επεξεργασία εικόνας, όπου το SNR μιας εικόνας συνήθως υπολογίζεται ως ο λόγος της μέσης τιμής pixel με την τυπική απόκλιση των τιμών pixel σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Μερικές φορές SNR ορίζεται ως το τετράγωνο του εναλλακτικού ορισμού παραπάνω.

Όλες οι μετρήσεις επηρεάζονται από το θόρυβο. Αυτό περιλαμβάνει και τον ηλεκτρονικό θόρυβο, αλλά μπορεί επίσης να περιλαμβάνει εξωτερικά γεγονότα που επηρεάζουν το μετρούμενο φαινόμενο - όπως άνεμος, δονήσεις, βαρυτική έλξη της σελήνης, οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, οι διακυμάνσεις της υγρασίας, κ.λπ., ανάλογα με το τι μετριέται και την ευαισθησία της συσκευής. Συνήθως είναι δυνατό να μειωθεί ο θόρυβος από τον έλεγχο του περιβάλλοντος. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν τα χαρακτηριστικά του θορύβου είναι γνωστά και είναι διαφορετικά από το σήμα, δεν είναι δυνατό να φιλτράρουμε ή να επεξεργαστούμε το σήμα. Όταν το σήμα είναι συνεχές ή περιοδικό και ο θόρυβος είναι τυχαίος, είναι δυνατό να ενισχυθεί το SNR από το μέσο όρο των μετρήσεων.



Σχήμα 2.15 Πηγές θορύβου που προέρχονται από το περιβάλλον

Οι μέθοδοι αύξησης του λόγου S/N στις μετρήσεις διαφόρων φυσικών ποσοτήτων διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία βασίζεται σε συνδυασμό τεχνικών θωράκισης, χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων (π.χ. φίλτρων διέλευσης ζώνης συχνοτήτων), ενισχυτών ειδικού τύπου και ολοκληρωτών. Οι μέθοδοι αυτές ονομάζονται συλλογικά μέθοδοι υλισμικού (hardware methods).

Η δεύτερη κατηγορία μεθόδων βασίζεται στη χρήση ψηφιακών υπολογιστών. Λαμβάνονται δείγματα "στιγμιότυπα" του σήματος (μαζί με τον θόρυβο που τα συνοδεύει) και εισάγονται στη μνήμη του υπολογιστή ως μια σειρά τιμών. Στη συνέχεια οι τιμές υφίστανται επεξεργασία με κατάλληλο πρόγραμμα που βελτιώνει τον λόγο S/N. Οι μέθοδοι αυτές ονομάζονται συλλογικά μέθοδοι λογισμικού (software methods). Λόγω του συνεχώς μειούμενου κόστους των ψηφιακών υπολογιστών και της σύνδεσης ή ενσωμάτωσής τους ουσιαστικά σε κάθε μετρητική διάταξη, η τάση στη σύγχρονη οργανολογία είναι η αντικατάσταση των μεθόδων υλισμικού με μεθόδους λογισμικού. Μια σειρά βασικών μεθόδων υλισμικού και λογισμικού για την αντιμετώπιση του θορύβου στις μετρήσεις θα περιγραφεί στα επόμενα κεφάλαια.

2.13 Αντιμετώπιση θορύβου με μεθόδους υλισμικού και λογισμικού

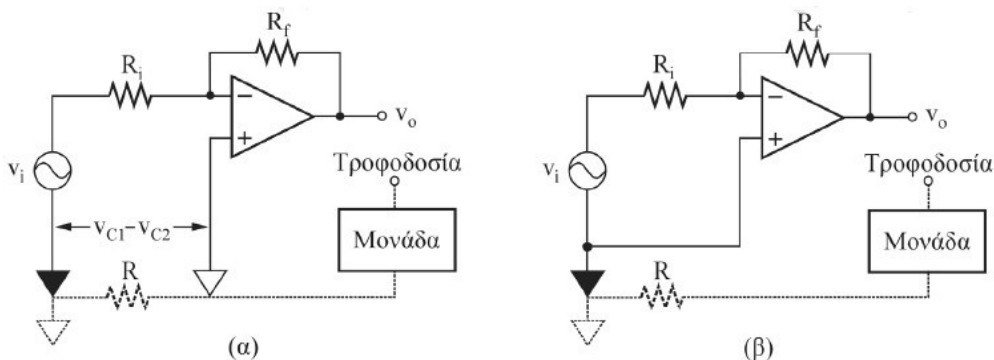
Γείωση και θωράκιση μονάδων

Γενικά, ως γείωση (grounding) ορίζεται η ηλεκτρική σύνδεση του μεταλλικού περιβλήματος (chassis) μιας συσκευής με τη γείωση της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, ή με μεταλλικές ράβδους μπηγμένες στο έδαφος ή με μεταλλικούς αγωγούς ύδρευσης. Η γείωση αυτού του τύπου στο εξής θα ονομάζεται πραγματική γείωση (true ground, earthing) και πρέπει να διακρίνεται από τη γείωση των εξαρτημάτων σε ένα κύκλωμα. Η τελευταία αποτελεί το σημείο αναφοράς και μετρήσεων των δυναμικών διαφόρων σημείων του και ονομάζεται κοινό (common). Το κοινό ενός κυκλώματος άλλοτε συνδέεται με την πραγματική γείωση και άλλοτε όχι. Σε ευαίσθητα κυκλώματα ενισχυτών, ποτενσιοστάτες κ.λπ. η σύνδεση αυτή πρέπει να αποφεύγεται, γιατί καθιστά το κύκλωμα ευαίσθητο σε βρόχους γείωσης.

Με την πραγματική γείωση εξασφαλίζονται: (1) Η ασφάλεια του χειριστή της συσκευής έναντι τυχαίων διαρροών του ηλεκτρικού ρεύματος προς το μεταλλικό περίβλημα λόγω φθοράς διαφόρων εξαρτημάτων ή κακής κατασκευής και (2) η αποτελεσματική μείωση της απ'ευθείας σύλληψης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και γενικά μη θεμελιωδών τύπων θορύβου, π.χ. θόρυβος 50 Hz, ραδιοφωνικές εκπομπές, ηλεκτρονικές αναφλέξεις κινητήρων αυτοκινήτων, θόρυβοι εκκινήτων (starters) λαμπτήρων φθορισμού.

Βρόχος γείωσης. Η σύνδεση των κοινών πολλών μονάδων πρέπει να γίνεται με βάση καθορισμένο και όχι τυχαίο τρόπο, για να αποφευχθεί η εισαγωγή θορύβου από την παρουσία βρόχου γείωσης (grounding loop). Η σύνδεση του Σχήματος 2.16α δημιουργεί βρόχο γείωσης, λόγω σύνδεσης της πηγής σήματος (π.χ. του ανιχνευτή) και του τελεστικού ενισχυτή σε δύο διαφορετικά σημεία του κοινού του κυκλώματος. Μεταξύ των δύο σημείων σύνδεσης είναι δυνατόν να υπάρχει μια παράσιτη διαφορά δυναμικού $v_{C1} - v_{C2}$. Στην περίπτωση αυτή το σήμα στην έξοδο του ενισχυτή θα παρέχεται από τη σχέση

$$v_o = -(R_f/R_i)[v_i + (v_{C1} - v_{C2})]$$



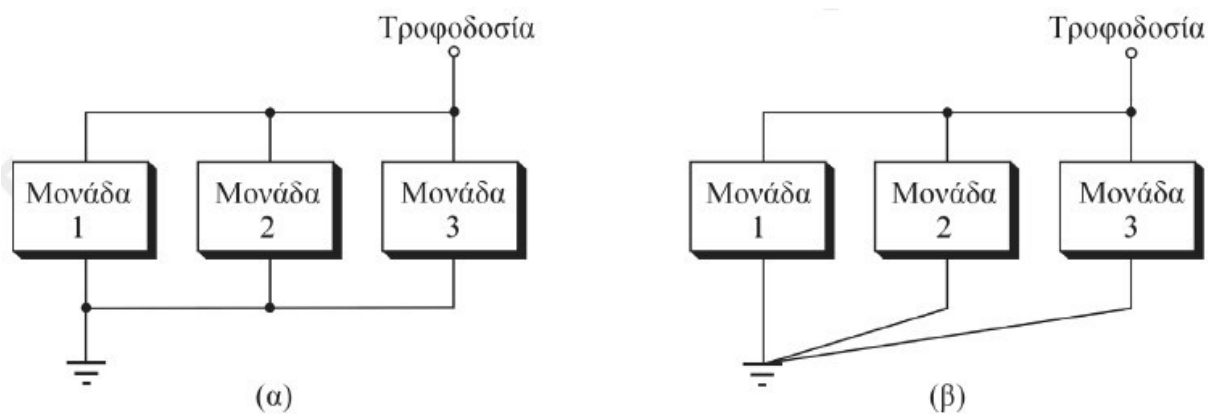
(α) Σύνδεση πηγής σήματος και ενισχυτή σε δύο διαφορετικά σημεία του κοινού του κυκλώματος με αποτέλεσμα δημιουργία βρόχου γείωσης. (β) Ορθός τρόπος σύνδεσης των μονάδων με το κοινό

Σχήμα 2.16

Η παράσιτη διαφορά δυναμικού $v_{C1} - v_{C2}$ οφείλεται στο ότι δεν υπάρχουν μεταλλικοί αγωγοί, που είναι πλήρως απαλλαγμένοι από ωμική και επαγωγική αντίσταση. Έτσι, όταν και οι δύο γειώσεις είναι συνδεδεμένες με τον ίδιο αγωγό και η αντίσταση μεταξύ των δύο σημείων συνδέσεων είναι R , κάθε ρεύμα i , που διαρρέει τον αγωγό, θα δημιουργεί μια διαφορά δυναμικού $v_{C2} - v_{C1} = iR$. Το ρεύμα i μπορεί να είναι ρεύμα επιστροφής

(return current) από άλλες μονάδες ή επαγωγικό ρεύμα, λόγω παρουσίας ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων. Με τη σύνδεση που δείχνεται στο Σχήμα 2.16β, αποφεύγεται η δημιουργία βρόχου γείωσης και η παράσιτη διαφορά δυναμικού μηδενίζεται.

Οι δύο γενικοί τρόποι σύνδεσης των κοινών επιμέρους μονάδων δείχνονται στο Σχήμα 2.17. Η σύνδεση σε σειρά (α) είναι πιο απλή, αλλά οδηγεί σε βρόχους γείωσης, ενώ η παράλληλη σύνδεση (β) είναι η ορθότερη, αφού αποτρέπει τη “διασταύρωση” ρευμάτων επιστροφής σε μεγάλα μήκη αγωγών. Εάν η πηγή σήματος βρίσκεται σε διαφορετικό “κοινό” από εκείνο του ενισχυτή, τότε πρέπει να γίνει χρήση διαφορικού ενισχυτή (π.χ. ενισχυτή οργανολογίας) για να εξουδετερωθεί η παράσιτη διαφορά δυναμικού, που θα αποτελεί “κοινό σήμα” και για τις δύο εισόδους του. Όσο μεγαλύτερος είναι ο CMRR του διαφορικού ενισχυτή, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ανοχή του σε βρόχους γείωσης.



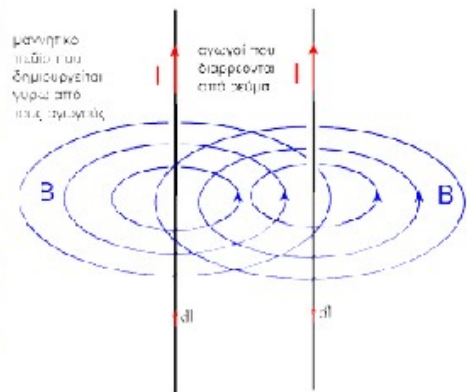
Σύνδεση μονάδων με το κοινό: (α) Σύνδεση σε σειρά, (β) σύνδεση παράλληλη.
Σχήμα 2.17

2.14 Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές μεταξύ καλωδίων.

Σύνθετη αντίστασης της γραμμής (ωμική και επαγωγική - χωρητική).



- Δισύρματα καλώδια: θερμικές απώλειες (λόγω ωμικής αντίστασης αγωγών) => όταν ο ηλεκτρισμός βρίσκει αντίσταση στον αγωγό παράγεται θερμότητα => εξασθένση του σήματος.
- Επαγωγική-χωρητική αντίσταση αγωγών: Όταν ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα δημιουργείται μαγνητικό πεδίο γύρω από τον αγωγό => ανάλογα με την συχνότητα του σήματος παρατηρείται εξασθένση.



Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή (ή EMI, που ονομάζεται επίσης παρεμβολή ραδιοσυχνοτήτων ή RFI) είναι μια διαταραχή που επηρεάζει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και μπορεί να οφείλεται είτε στην ηλεκτρομαγνητική επαγωγή ή στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από μια εξωτερική πηγή. Η διαταραχή μπορεί να διακόψει, εμποδίζει, ή με άλλο τρόπο υποβαθμίζει ή περιορίζει την αποτελεσματική απόδοση ενός κυκλώματος. Η πηγή μπορεί να είναι οποιοδήποτε αντικείμενο, τεχνητή ή φυσική, το οποίο μεταφέρει ταχέως μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα.

Συγκροτήματα ηλεκτρονικών κυκλωμάτων βρίσκονται σε όλα τα είδη των συσκευών που χρησιμοποιούνται στο σπίτι. Αυτό οδηγεί σε μια τεράστια πιθανή παρεμβολή που δεν υπήρχε σε παλαιότερες, πιο απλές δεκαετίες. Το 1982 η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC), σε συνεργασία με κατασκευαστές εξοπλισμού, αποφάσισε να επιτρέψει να αναπτυχθούν τα πρότυπα για τη θωράκιση EMI και να εφαρμοστούν προγράμματα εθελοντικής συμμόρφωσης.

Πομποί εκπομπής, αμφίδρομοι ραδιοπομποί, πομποί τηλειδιοποίησης, η καλωδιακή τηλεόραση είναι πιθανές πηγές της RFI και EMI. Άλλες πιθανές πηγές παρεμβολών περιλαμβάνουν μια ευρεία ποικιλία συσκευών, όπως οι μετασχηματιστές, κουδούνια, φούρνοι, τoσσιέρα, ηλεκτρικές κουβέρτες, συσκευές ελέγχου, θερμαντικά επιθέματα, ελεγχόμενοι λαμπτήρες. Πολλαπλές οθόνες υπολογιστών ή τηλεοράσεις CRT που κάθονται πολύ κοντά η μία στην άλλη μπορεί μερικές φορές να προκαλέσουν ένα «κούνημα» στη μεταξύ τους επίδραση, λόγω της ηλεκτρομαγνητικής φύσης των σωλήνων, ειδικά όταν ένα από τα de-gaussing πηνία τους είναι ενεργοποιημένο.

Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή στα 2,4 GHz μπορεί να προκληθεί από 802.11b και 802.11g ασύρματες συσκευές, συσκευές Bluetooth, ασύρματα τηλέφωνα, και φούρνους μικροκυμάτων.

Εναλλακτικά επαγωγικά φορτία, όπως ηλεκτρικοί κινητήρες, συχνά προκαλούν παρεμβολές, αλλά εύκολα καταστέλλονται με τη σύνδεση δικτύου αποσβεστήρα, μια αντίσταση σε σειρά με έναν πυκνωτή, στον διακόπτη. Ακριβείς τιμές μπορούν να βελτιστοποιηθούν για κάθε περίπτωση, αλλά 100 Ω σε σειρά με 100 nanofarads είναι συνήθως ικανοποιητική.

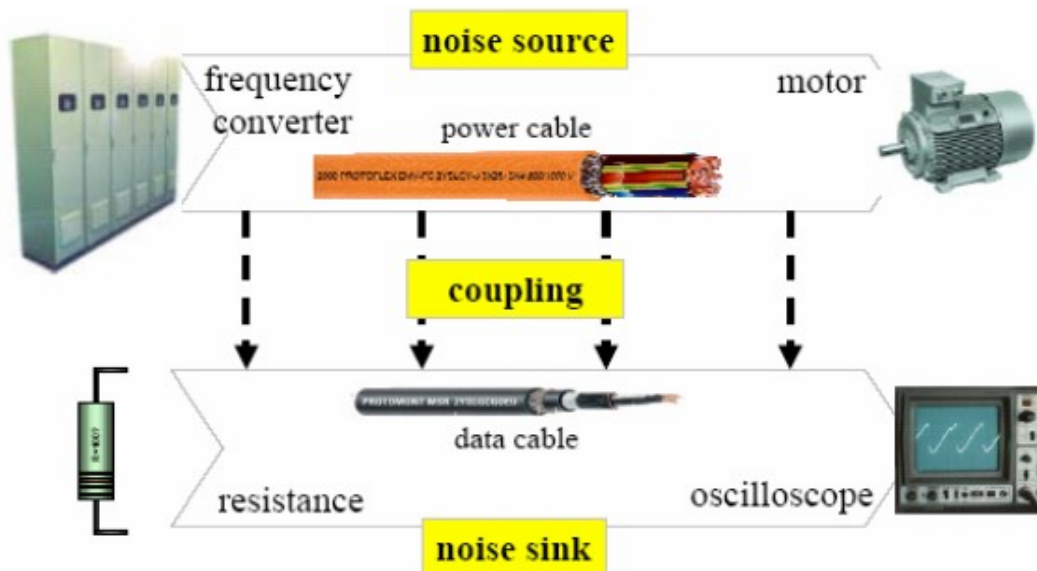
Δια κοπτικού τρόπου παροχές ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να αποτελέσουν πηγή της EMI, αλλά έχουν γίνει μικρό πρόβλημα, καθώς οι τεχνικές σχεδιασμού έχουν βελτιωθεί, όπως η ολοκληρωμένη διόρθωση συντελεστή ισχύος.

Οι περισσότερες χώρες έχουν νομικές προδιαγραφές όσον αφορά την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα: ηλεκτρονικός και ηλεκτρικός εξοπλισμός πρέπει να εξακολουθούν να λειτουργούν σωστά, όταν υποβάλλονται σε ορισμένα ποσά ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, και δεν πρέπει να εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία θα μπορούσε να παρέμβει σε άλλο εξοπλισμό (όπως ραδιόφωνο, τηλεόραση κλπ).

Οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές σε καλώδια μεταφοράς δεδομένων (χαμηλής τάσης και υψηλής συχνότητας λειτουργίας) είναι ένα σοβαρό πρόβλημα, ιδιαίτερα στα συστήματα ελέγχου κίνησης (drive systems).

Η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) είναι η ικανότητα μιας ηλεκτρικής ή ηλεκτρονικής συσκευής να λειτουργεί χωρίς να προκαλεί ανεπιθύμητες παρεμβολές στο περιβάλλον της. Χωρίς αυστηρές μαθηματικές έννοιες, σε ό,τι αφορά τα καλώδια, το ζήτημα μπορεί να τεθεί ως εξής: Οι διατάξεις ισχύος (π.χ. κινητήρες) και οι αγωγοί (καλώδια) που διαρρέονται από ρεύμα χαμηλής συχνότητας (50Hz) επάγουν ηλεκτρικές τάσεις και δημιουργούν μαγνητικά πεδία στο περιβάλλον τους. Πολύ συχνά, λόγω διαταραχών στο δίκτυο τροφοδοσίας ή λόγω λειτουργίας μη γραμμικών φορτίων (π.χ. λειτουργία ενός κινητήρα με μετατροπέα συχνότητας – FC frequency converter) δημιουργούνται αρμονικές συνιστώσες υψηλής συχνότητας στην τάση εξόδου.

Αυτά τα παρεμβαλλόμενα σήματα (με τάση από mV έως και κάποια V) διαχέονται μέσω του καλωδίου ή/και του αέρα. Όταν η τάση και η συχνότητα των σημάτων παρεμβολής βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο τάσης και εύρους συχνότητας μετάδοσης των αγωγών μεταφοράς δεδομένων (χαμηλή τάση και υψηλή συχνότητα λειτουργίας), τότε διαταράσσεται η μετάδοση σήματος. Σχηματικά, στα προβλήματα EMC υπάρχει ένας πομπός “ηλεκτρομαγνητικού” θορύβου, ένας δέκτης θορύβου (ασθενές ρεύμα) και ένα μέσο ηλεκτρομαγνητικής ζεύξης (αέρας, καλώδια). Η απόσταση μεταξύ της πηγής και του δέκτη είναι πολύ σημαντική για την μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (ζεύξη). Επειδή τα καλώδια μεταφοράς δεδομένων συνήθως διατάσσονται παράλληλα και σχετικά κοντά με τα καλώδια ισχύος, το πρόβλημα μπορεί να γίνει πολύ σοβαρό.

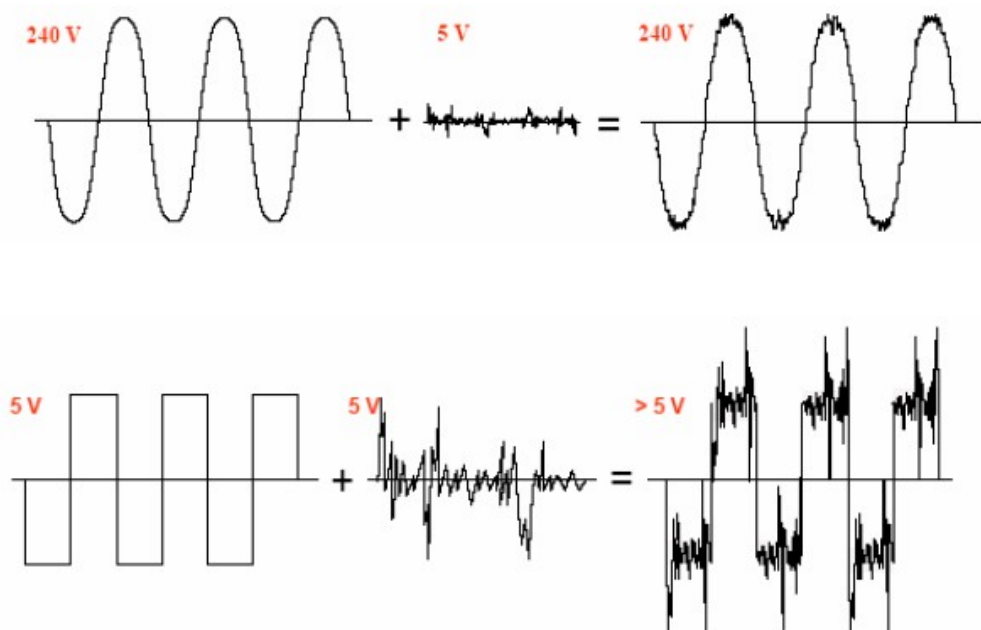


Επίδραση του πεδίου του καλωδίου ισχύος στο καλώδιο μεταφοράς δεδομένων σε ένα σύστημα ελέγχου κίνησης με μετατροπέα συχνότητας

Ποιος διαταράσσει ποιον;

Στα καλώδια, το πρόβλημα των παρεμβολών εμφανίζεται συνήθως σε κυκλώματα ασθενούς ρεύματος. Ένα καλώδιο ισχύος με $U_0/U = 240/400V$ και συχνότητα 50Hz δεν θα επηρεαστεί από μια παρεμβολή χαμηλού εύρους τάσης και μεγάλης συχνότητας.

Η κατάσταση αλλάζει όταν ο δέκτης βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο τάσης λειτουργίας με το σήμα παρεμβολής (Σχήμα 2β). Τα καλώδια μεταφοράς δεδομένων ή bus είναι πιο ευαίσθητα, καθώς λειτουργούν με πολύ χαμηλό επίπεδο τάσης (π.χ., 5V). Το ίδιο ισχύει και για τις συσκευές ραδιοεπικοινωνίας, που λειτουργούν σε χαμηλές τάσεις και υψηλές συχνότητες .



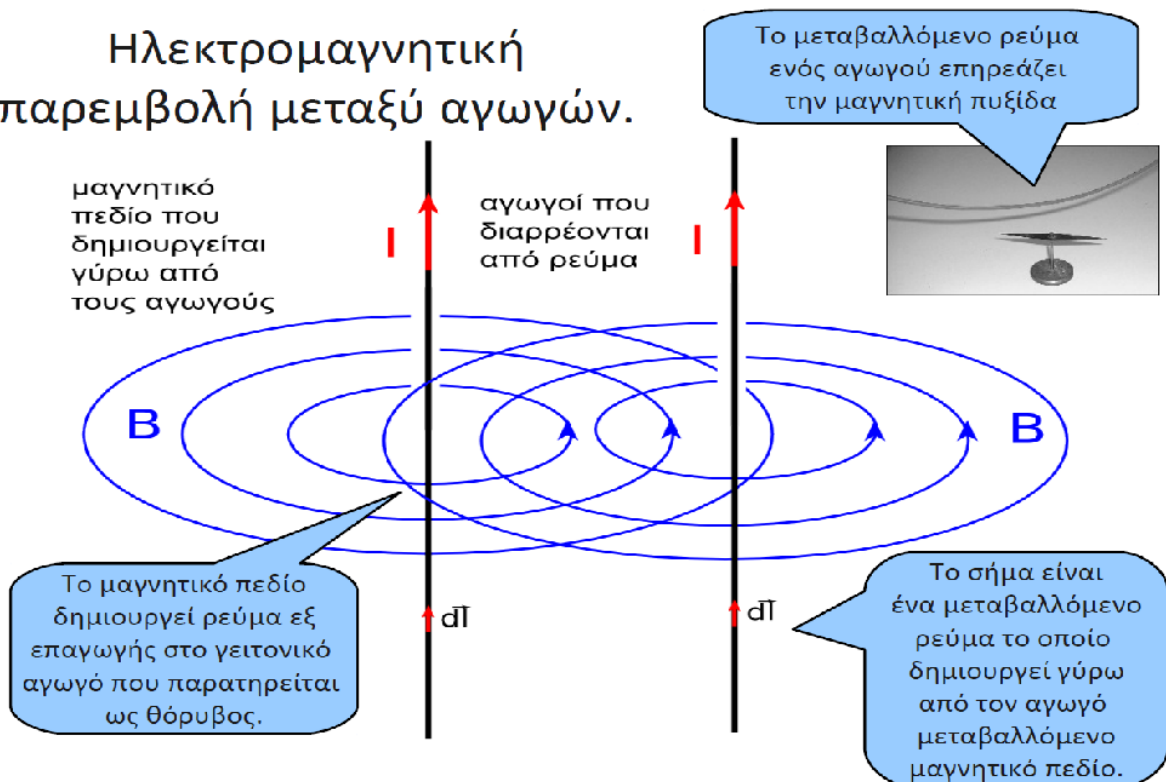
Επίδραση σήματος παρεμβολής

Αντιμετώπιση του προβλήματος της EMC σε καλώδια ισχύος.

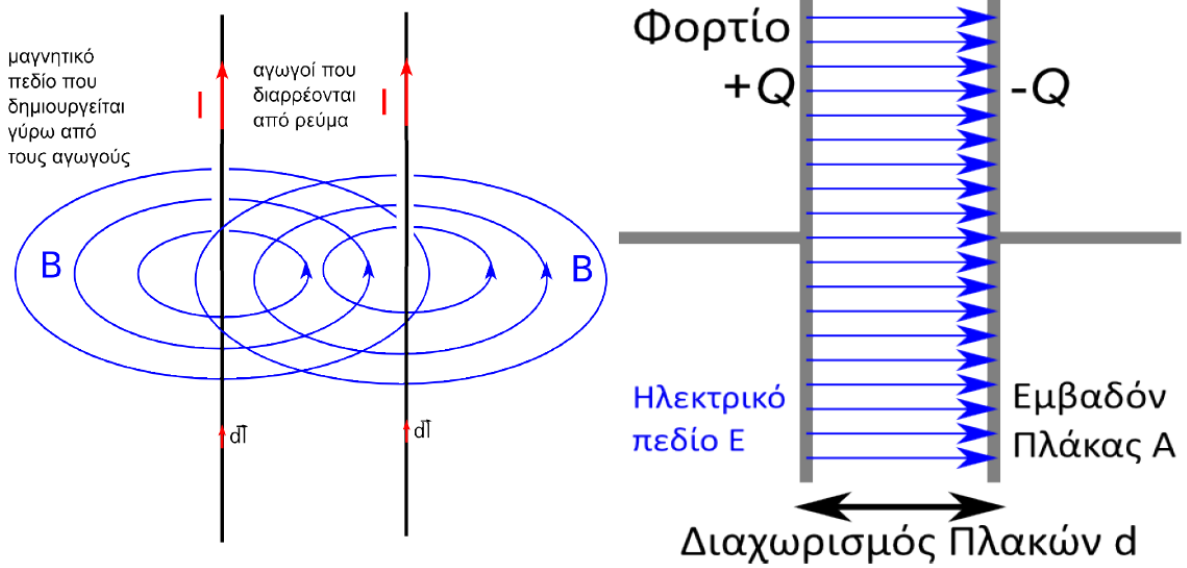
Η πηγή του “ηλεκτρομαγνητικού θορύβου” (ή «πομπός») είναι πάντα μια συσκευή που λειτουργεί με ισχυρό ρεύμα π.χ. ένας κινητήρας με μετατροπέα συχνότητας. **Σε καμία περίπτωση δεν είναι το ίδιο το καλώδιο πηγή θορύβου.** Εντούτοις, το καλώδιο ισχυρού ρεύματος μπορεί να συμβάλει στην εκπομπή των σημάτων παρεμβολής.

Τα καλώδια ισχύος, 3 ή 4 αγωγών θα πρέπει να προδιαγράφονται σύμφωνα με τα ηλεκτρικά μεγέθη λειτουργίας και τις συνθήκες εγκατάστασης (σταθερή τοποθέτηση ή κινητή χρήση, εξωτερικό ή εσωτερικό περιβάλλον κλπ). Ο σχεδιασμός θα πρέπει να προβλέπει υψηλής ποιότητας υλικά με καλά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (υψηλή αντοχή έναντι αστοχίας και χαμηλή διηλεκτρική σταθερά) όπως είναι τα PE, XLPE ή EPR. Οι κλώνοι θα πρέπει να διατάσσονται συμμετρικά και η θωράκιση να έχει τη βέλτιστη σχεδίαση (ισχύουν οι ίδιες απαιτήσεις όπως για τα καλώδια ασθενούς ρεύματος).

Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή μεταξύ αγωγών.



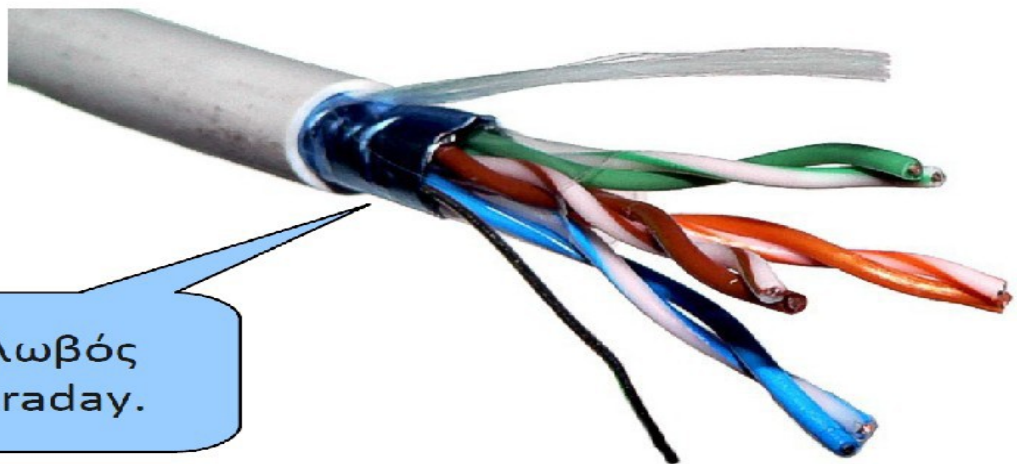
Επαγωγική-χωρητική αντίσταση αγωγών.



Οι αγωγοί διαρρέονται από ρεύμα => δημιουργείται γύρω από τους αγωγούς α) ηλεκτρικό πεδίο (οι δύο αγωγοί συμπεριφέρονται ως πυκνωτής), και β) μαγνητικό πεδίο (οι δύο αγωγοί συμπεριφέρονται ως πηνίο) => επαγωγική - χωρητική αντίσταση.

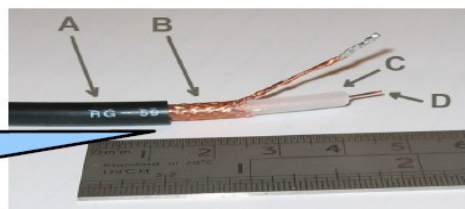
Κλωβός Faraday: Ένα μεταλλικό πλέγμα για ηλεκτρομαγνητική θωράκιση.

Ηλεκτρομαγνητική Θωράκιση: FTP cable

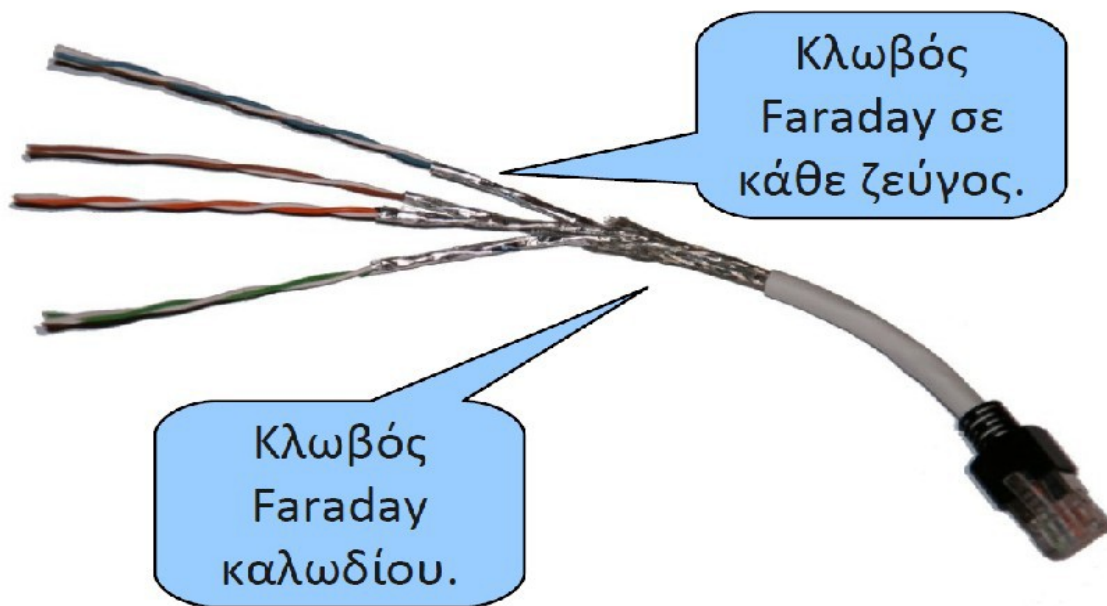


Κλωβός Faraday.

Ηλεκτρομαγνητική θωράκιση ομαξονικού καλωδίου.



Ηλεκτρομαγνητική Θωράκιση: S-FTP cable

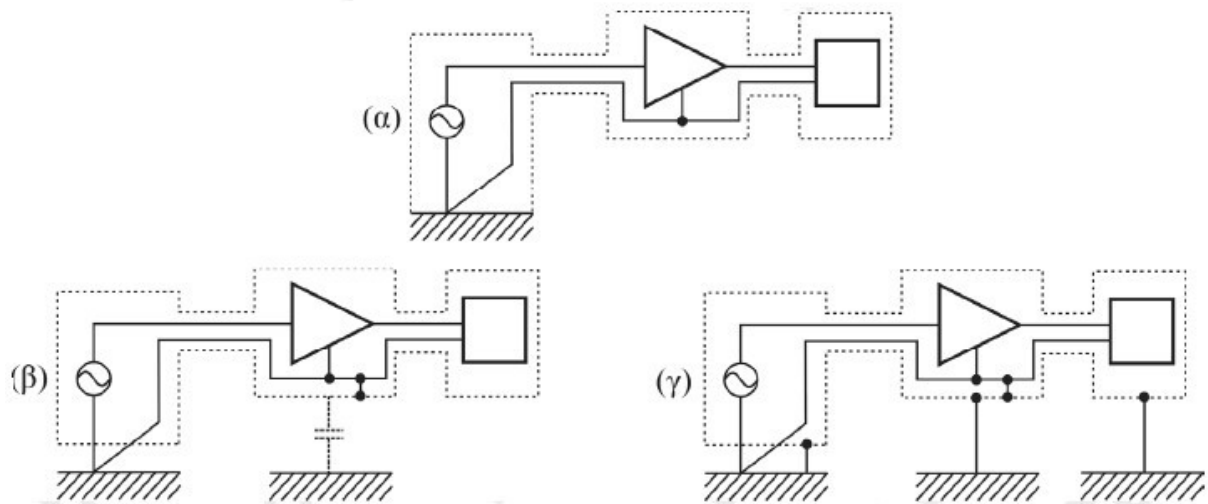


2.15 Θωράκιση (shielding).

Σύνδεση του μεταλλικού περιβλήματος μιας μονάδας με την πραγματική γείωση το μετατρέπει σε κλωβό Faraday (Faraday cage) και περιορίζει ή αποκλείει την επαγωγική σύλληψη ηλεκτρομαγνητικού θορύβου. Η σύνδεση θα πρέπει να είναι άμεση, με αγωγούς μεγάλης διατομής, και ποτέ μέσω της γείωσης της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης (που είναι σχεδόν πάντοτε επιβαρυμένη με ρεύματα επιστροφής και επαγωγικά ρεύματα), αλλά με πραγματική γείωση αποκλειστικά κατασκευασμένη για τη δεδομένη μονάδα, κάτι όχι πάντοτε εφικτό στους συνηθισμένους χώρους μετρήσεων.

Η σύνδεση των μεταλλικών περιβλημάτων με την πραγματική γείωση απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή για να αποφευχθεί η δημιουργία βρόχων γειώσεων και παράσιτων χωρητικότητων. Τρεις διαφορετικοί τρόποι σύνδεσης των θωρακίσεων των επιμέρους μονάδων διάταξης πηγής σήματος-ενισχυτή-μονάδας εξόδου παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.18.

Ο ορθότερος τρόπος σύνδεσης δείχνεται στο Σχήμα 2.18α (ενιαίο περίβλημα μέσω θωρακισμένων καλωδίων, ενιαία σύνδεση θωράκισης, κοινού, πραγματικής γείωσης στη μονάδα της πηγής). Στο Σχήμα 2.18β δείχνεται σύνδεση του κοινού του ενισχυτή με τη θωράκιση, γεγονός που θα οδηγήσει σε αύξηση της παράσιτης χωρητικότητας μεταξύ εισόδου και πραγματικής γείωσης. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή παράσιτων σημάτων ηλεκτροστατικής προέλευσης. Στο Σχήμα 2.18γ το περίβλημα κάθε μονάδας συνδέεται ξεχωριστά με την πραγματική γείωση. Η σύνδεση αυτή δημιουργεί βρόχους γείωσης με όλα τα επακόλουθα προβλήματα.

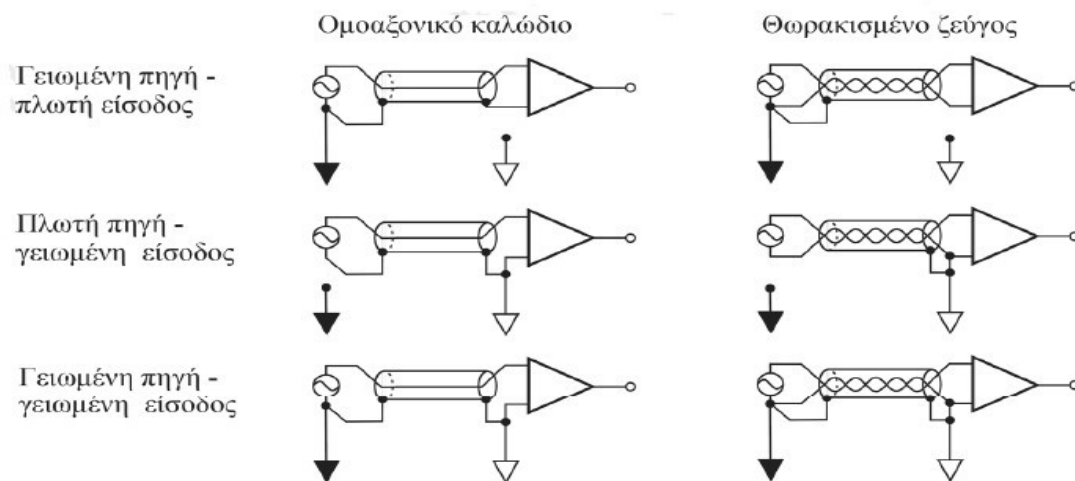


Συνδέσεις των θωρακίσεων (---) μονάδων πηγής σήματος-ενισχυτή- μονάδας εξόδου, με την πραγματική γείωση: (α) ορθός τρόπος, (β)-(γ) εσφαλμένοι τρόποι.

Σχήμα 2.18

2.16 Θόρυβος κατά τη ζεύξη μονάδων

Το ηλεκτρικό σήμα μεταφέρεται από τη μια μονάδα στην άλλη (π.χ. από το μεταλλάκτη στον ενισχυτή) με ζεύγος καλωδίων. Εάν τα δύο καλώδια διαφέρουν σε μήκος και θέση ως προς μια πηγή θορύβου (π.χ. τις γραμμές τροφοδοσίας, μετασχηματιστές, κινητήρες), είναι βέβαιη η σε διαφορετικό βαθμό επαγωγική σύλληψη θορύβου από το κάθε καλώδιο. Λόγω του διαφορετικού πλάτους του θορύβου σε κάθε αγωγό, ο διαφορικός ενισχυτής δεν θα είναι σε θέση να εξουδετερώσει το θόρυβο. Το πρόβλημα λύνεται με χρήση πλεγμένου ζεύγους καλωδίων, οπότε και οι δύο αγωγοί θα συλλαμβάνουν το θόρυβο, πρακτικά στον ίδιο βαθμό. Προτιμότερη λύση είναι η χρήση ομοαξονικού καλωδίου (coaxial cable) ή θωρακισμένου ζεύγους πλεγμένων καλωδίων (shielded twisted-pair cable).



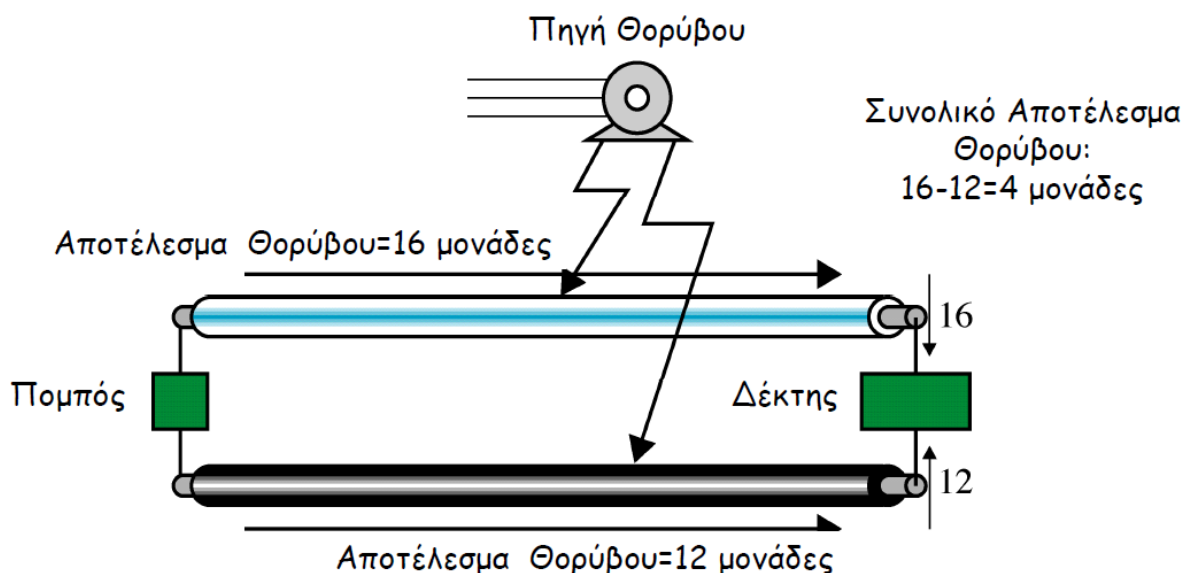
Συνιστώμενοι τρόποι ζεύξης πηγής σήματος με ενισχυτή με θωρακισμένα καλώδια.

Σχήμα 2.19

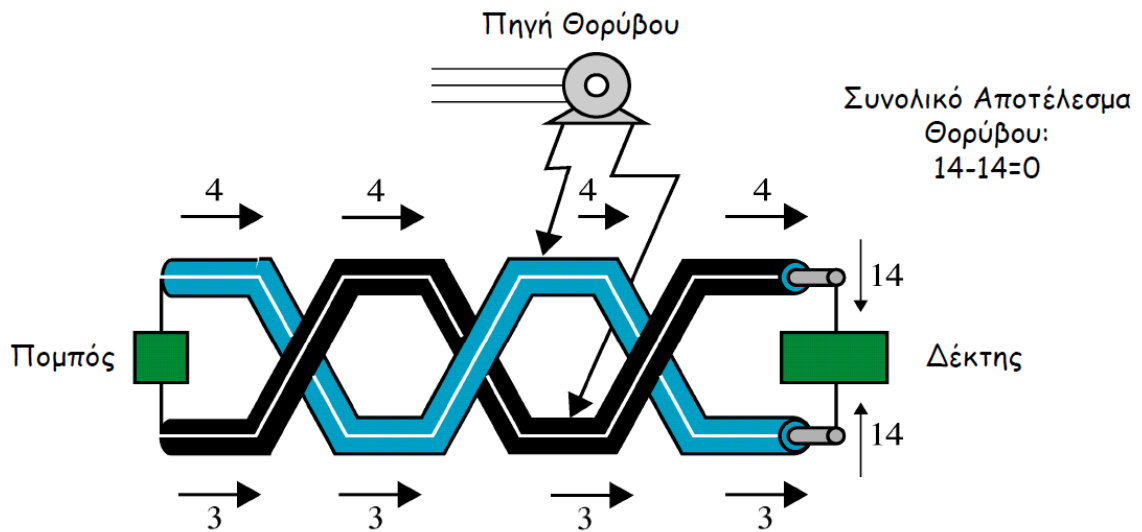
Οι συνιστώμενοι τρόποι ζεύξης πηγής σήματος με ενισχυτή, με θωρακισμένα καλώδια δείχνονται στο Σχήμα 2.19. Κατά τη χρησιμοποίηση θωρακισμένων καλωδίων για τη μεταφορά υψίσυχνων σημάτων επιβάλλεται ο έλεγχος της συμβατότητας της σύνθετης αντίστασης του καλωδίου με εκείνη της εξόδου και εισόδου των συνδεόμενων μονάδων.

Σε πολλές περιπτώσεις οι γειώσεις δύο μονάδων είναι τελείως ασύμβατες (π.χ. λόγω παρουσίας μεγάλης διαφοράς τάσης ή μεγάλων ρευμάτων επιστροφής). Στις περιπτώσεις αυτές επιβάλλεται πλήρης ηλεκτρολογική απομόνωση (isolation) μεταξύ των μονάδων και η μετάδοση της πληροφορίας μπορεί να πραγματοποιηθεί με επαγωγική ζεύξη (inductive coupling) ή με οπτική ζεύξη (optical coupling). Στην πρώτη περίπτωση η πληροφορία πρέπει να διαμορφώσει ένα υψίσυχο σήμα, ώστε να είναι δυνατή επαγωγική μεταφορά από ένα πηνίο στο άλλο, ενώ στη δεύτερη η πληροφορία πρέπει να υποστεί παλμική κωδικοποίηση. Η οπτική ζεύξη αποτρέπει τελείως κάθε επίδραση θορύβου περιβάλλοντος στη γραμμή μεταφοράς του σήματος.

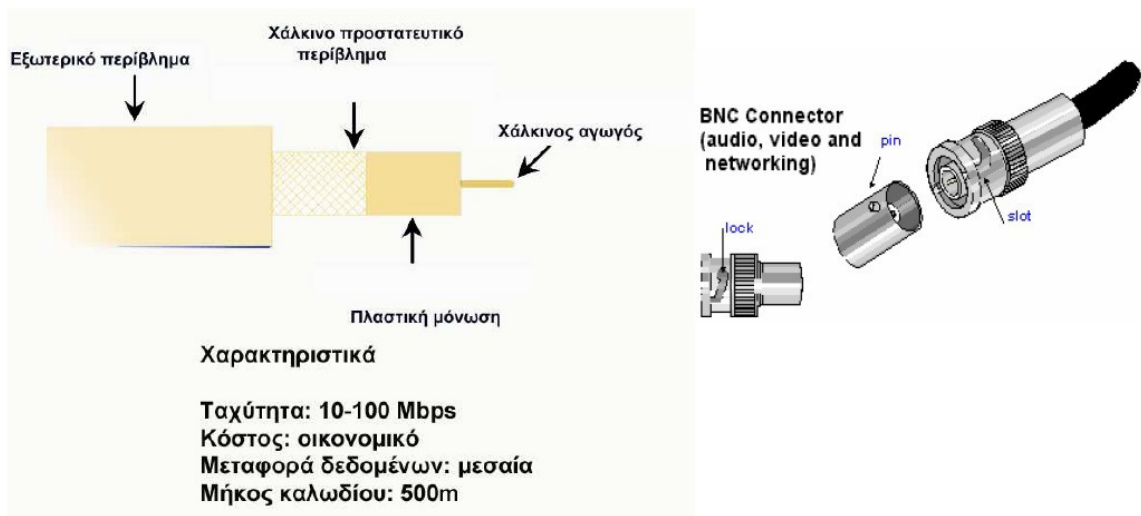
Θόρυβος & Παρεμβολές σε Παράλληλες Γραμμές



Θόρυβος & Παρεμβολές σε Συνεστραμμένες Γραμμές



Ομοαξονικά Καλώδια



Ομοαξονικά Καλώδια

- ❑ Το ομοαξονικό καλώδιο αποτελείται από ένα χάλκινο αγωγό ο οποίος περιβάλλεται από ένα εύκαμπτο μονωτικό υλικό.
 - ❑ Το μονωτικό υλικό περιβάλλεται από ένα μεταλλικό πλέγμα ή φύλλο το οποίο λειτουργεί ως: α) ένα δεύτερο σύρμα (επιπλέον αυτού που είναι ο εσωτερικός αγωγός) και β) θωράκιση για τον εσωτερικό αγωγό.
 - ❑ Η μεταλλική θωράκιση περιβάλλεται από πλαστικό περίβλημα.
 - ❑ Οι επιδόσεις τους είναι της τάξης των 10-100 Mbps.
- ❑ Τα ομοαξονικά καλώδια τερματίζονται σε συνδέσμους οι οποίοι εύλογα έχουν κυλινδρική γεωμετρία και ονομάζονται BNC.

- ❑ Η χρήση των ομοαξονικών καλωδίων προσφέρει τη δυνατότητα διασύνδεσης χωρίς τη χρήση επαναληπτών για μεγαλύτερες αποστάσεις συγκριτικά με τα UTP καλώδια.
 - το μέγιστο μήκος τους είναι της τάξης των 500 μέτρων
 - υστερούν έναντι των οπτικών ινών αλλά αυτό το μειονέκτημα τους αντισταθμίζεται από το μικρότερο κόστος.
- ❑ Η σχετικά ανελαστικοί περιορισμοί που έχουν τα ομοαξονικά καλώδια ως προς τον ασφαλή τερματισμό τους οδήγησε στην περιθωριοποίηση τους και τη χρήση καλωδίων UTP ή οπτικών ινών για την υλοποίηση του γρήγορου Ethernet (ταχύτητες μετάδοσης 100 Mbps ή υψηλότερες).

2.17 Μείωση εύρους διέλευσης συχνοτήτων

Ένας αποτελεσματικός τρόπος μείωσης του θερμικού θορύβου είναι η μείωση του εύρους διέλευσης συχνοτήτων. Το φάσμα συχνοτήτων του σήματος θα δείξει την περιοχή, όπου βρίσκεται ο κύριος όγκος της πληροφορίας (χρήσιμη περιοχή). Εάν η περιοχή αυτή είναι σχετικά στενή, η χρήση ενισχυτή με ευρεία περιοχή συχνοτήτων θα είχε ως αποτέλεσμα να ενισχυθεί ο λευκός θόρυβος, όλης της περιοχής συχνοτήτων του ενισχυτή, ενώ θα μπορούσε να ενισχυθεί μόνο το τμήμα του λευκού θορύβου, που αντιστοιχεί στη χρήσιμη περιοχή συχνοτήτων. Η μείωση του εύρους συχνοτήτων γίνεται με συνδυασμούς φίλτρων συχνοτήτων ή με τη χρησιμοποίηση συντονισμένων ενισχυτών.

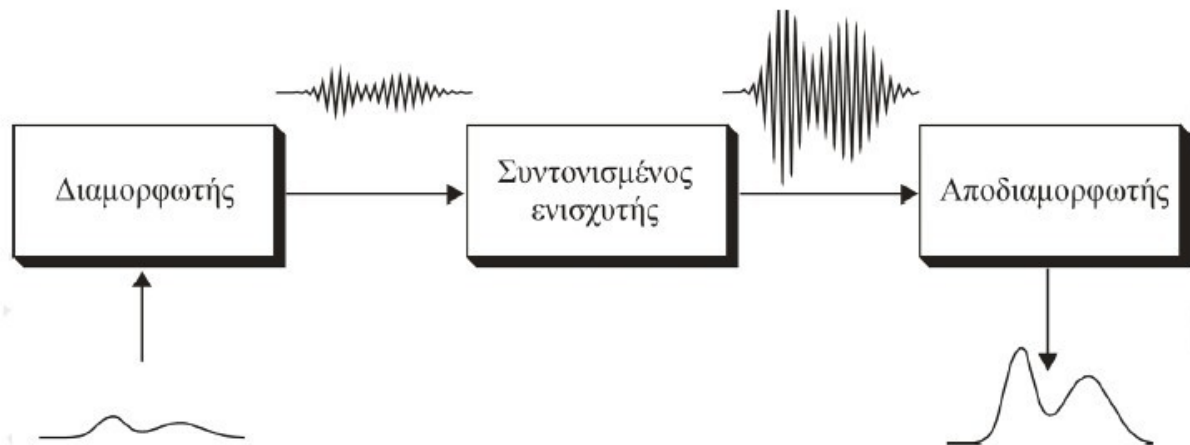
2.18 Μεταφορά του σήματος σε υψηλές συχνότητες

Εάν το σήμα $S(t)$ είναι σταθερό ή μεταβάλλεται σχετικά αργά, τότε η χρήσιμη περιοχή συχνοτήτων του, σπάνια βρίσκεται πέρα από την περιοχή 0-100 Hz (0-fmax). Ενίσχυση του σήματος με ενισχυτές DC (π.χ. με αντιστροφέα ενισχυτή) θα είχε ως αποτέλεσμα παράλληλη ενίσχυση του θορύβου $1/f$, που δεσπόζει στην περιοχή αυτή, και των θορύβων περιβάλλοντος (π.χ. των 50 Hz). Επιπλέον, θα εισήγαγε λευκό θόρυβο λόγω της ευρείας περιοχής συχνοτήτων του ενισχυτή. Γενικά, η εικόνα θορύβου (NF) του ενισχυτή

αναμένεται να είναι πολύ μεγαλύτερη από τη μονάδα, επομένως η απ'ευθείας ενίσχυση ασθενών σημάτων (π.χ. <1 mV) με ενισχυτή DC ουσιαστικά δεν προσφέρει τίποτα. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιείται ενισχυτής με διάταξη της οποίας η γενική αρχή λειτουργίας απεικονίζεται στο Σχήμα

Σε κάθε μονάδα της διάταξης γίνονται τα ακόλουθα:

1. Στον διαμορφωτή το σήμα $S(t)$ διαμορφώνει ένα υψίσυχο σήμα $C(t)$ συχνότητας $f_C \gg f_{max}$ (τυπικά f_C : 500 Hz-500 kHz).
2. Στον **συντονισμένο ενισχυτή** ενισχύεται το διαμορφωμένο υψίσυχο σήμα, που είναι πλέον ο φορέας της πληροφορίας που υπήρχε στο σήμα εισόδου. Ο συντονισμένος ενισχυτής ενισχύει περιορισμένο εύρος συχνοτήτων με κεντρική συχνότητα την f_C .
3. Στον **αποδιαμορφωτή** (ή **φωρατή**) το ενισχυμένο σήμα επανέρχεται στην αρχική περιοχή συχνοτήτων του και αναγεννάται η αρχική, αλλά ενισχυμένη πλέον, μορφή του σήματος εισόδου. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας των επιμέρους μονάδων της προηγούμενης διάταξης.



Ενίσχυση σήματος μετά από μεταφορά του σε υψηλότερες περιοχές συχνοτήτων (αρχή).

Σχήμα 2.20

Κεφάλαιο 3 – Σύντομη παρουσίαση του οργάνου

HIOKI



3144-20 NOISE SEARCH TESTER

Optical and Network Measurement Instruments



Ανίχνευση θορύβου σε γραμμές επικοινωνίας και γραμμές ισχύος.
Αισθητήρας τάσης μη-επαφής, ανιχνευτής της διαδρομής διείσδυσης του θορύβου καθώς και τις ζώνες συχνοτήτων, κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας των κυλωμάτων.



ISO14001
JQA-E-90081



<http://www.hioki.co.jp/>

HIOKI certifies overview, new products, environmental considerations and other information are available on our website.

Για την υποστήριξη της έρευνας και των μετρήσεων

- Ειδικά σχεδιασμένο για τις επιτόπιες μετρήσεις θορύβου
Εντοπίστε και αναπτύξτε μέτρα κατά των παρεμβολών του θορύβου
- Μετρήσεις χωρίς επαφή για ασφάλεια και ασφάλεια
- Μετρήστε το θόρυβο σε ενεργές γραμμές ισχύος, γραμμές τηλεπικοινωνιών και γραμμές γείωσης χωρίς την παρεμβολή στο κύκλωμα
- Ανίχνευση ακόμα και θόρυβο μιας στιγμής
Μετρήστε αστραπιαίες αιχμές, αιχμές κατά το άνοιγμα/κλείσιμο σταφών και ESD θόρυβο

Απλά τοποθετείστε την τσιμπίδα για να ανιχνεύσετε το θόρυβο

Ο θόρυβος μεταδίδεται μέσω γραμμών επικοινωνίας και γραμμών τροφοδοσίας ισχύος χρησιμοποιώντας διαφορετικά περάσματα. Τα προβλήματα όπως σφάλματα σημάτων και λανθασμένες λειτουργίες μηχανών λόγω θορύβου έχουν αυξηθεί αισθητά. Τοποθετώντας απλά τον αισθητήρα τάσης 9741 Clamp On Voltage Sensor, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τον 3144-20 για να εντοπίσετε τη ζώνη συχνοτήτων του θορύβου και το πέραςμα της διείσδυσής του.

Χρησιμοποιήστε την λειτουργία καταγραφής για μακροπρόθεσμη παρακολούθηση και μεταφέρετε τα κατεγραμμένα δεδομένα σε έναν υπολογιστή μέσω του USB καλωδίου, για εμφάνιση σε κυματομορφές και αντίστοιχες εκτυπώσεις.



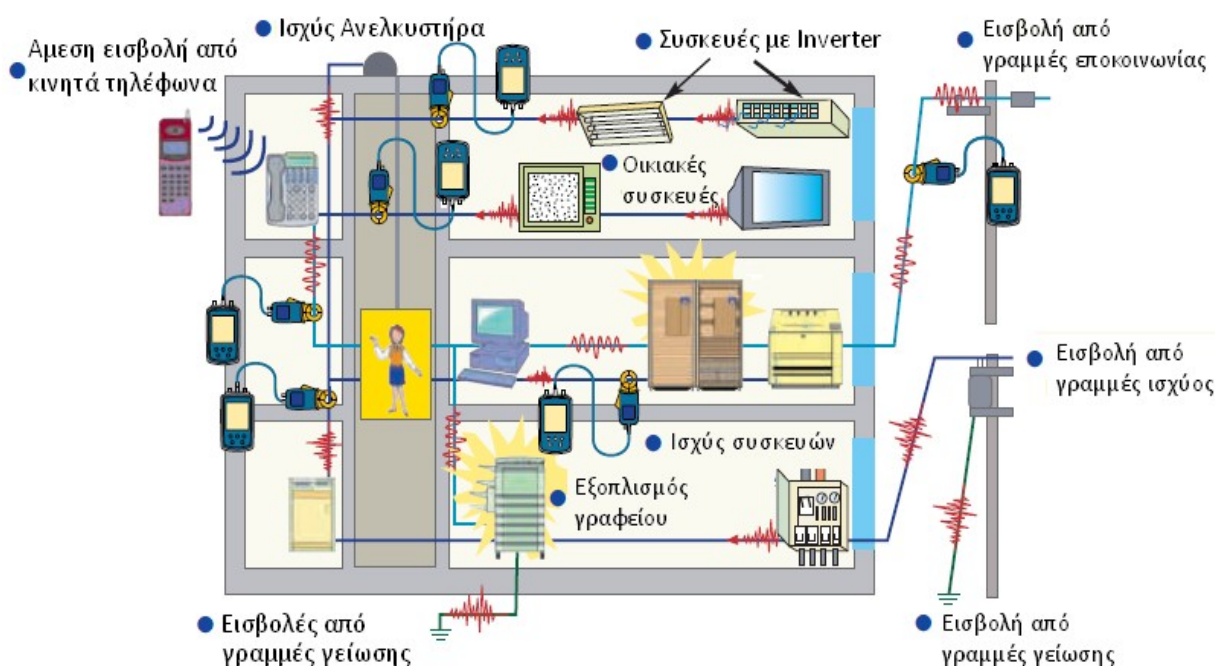
Ανιχνεύστε το θόρυβο χωρίς ηλεκτρική σύνδεση, έτσι ώστε να μην υπάρχει ανησυχία ατυχημάτων, ή διακοπής της λειτουργίας των κυκλωμάτων, ή βραχυκυκλωμάτων ακόμα και σε γραμμές που βρίσκονται υπό τάση. Ο αισθητήρας Clamp - On Voltage Sensor 9741 ανιχνεύει τάση θορύβου. Μετρήστε το θόρυβο απλά τοποθετώντας τη τσιμπίδα στη γραμμή που θέλετε να μετρήσετε (γραμμή τροφοδοσίας, επικοινωνιών, γείωσης κλπ). Ο αισθητήρας Clamp-On Voltage Sensor 9741 απαιτεί σύνδεση με γείωση.

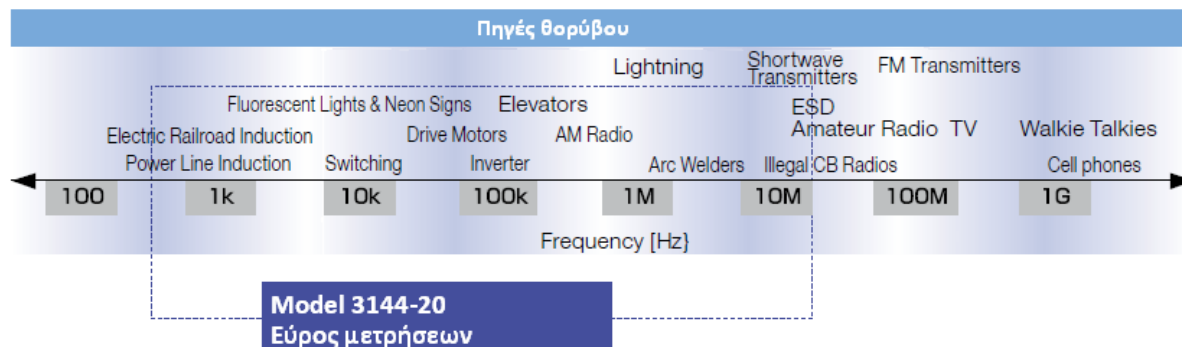
Χαρακτηριστικά

- **Αισθητήρας τάσης χωρίς επαφή.**
Ο θόρυβος μπορεί να ανιχνευθεί χωρίς την παρεμβολή στην τηλεπικοινωνία, τον έλεγχο, ή κάποια άλλη λειτουργία του ελεγχόμενου εξοπλισμού, γιατί οι μετρήσεις γίνονται χωρίς να γίνει επαφή κάποιου αγωγού του καλωδίου.
- **Ζώνη μετρίσιμων συχνοτήτων από 500 Hz μέχρι 30 MHz.**
Ο 3144-20 καλύπτει μια ευρεία ζώνη συχνοτήτων, από γραμμές τροφοδοσίας ισχύος έως θόρυβο σε CB radio
- **Εμφάνιση των επιπέδων με χρήση μεγάλης LCD.**
Ο ανιχνευμένος θόρυβος χωρίζεται σε ζώνες συχνοτήτων, και ύστερα εμφανίζεται στα επίπεδα.
- **Λειτουργία κράτησης μέγιστου (Peak Hold).**
Εμφάνιση της μέγιστης τιμής και της ώρας μέτρησής της για κάθε ζώνη συχνοτήτων.
- **Μακροπρόθεσμη παρακολούθηση χρησιμοποιώντας την λειτουργία καταγραφής.**
Καταγράφει έως 64000 στοιχεία δεδομένων.
- **USB επαφή.**
Οι USB διεπαφές μαζί με το προμηθευμένο λογισμικό για υπολογιστή, δίνει τη δυνατότητα να μεταφέρετε δεδομένα σε έναν υπολογιστή και να τις εμφανίσετε σε κυματομορφές χρονικές καθώς και να τις εκτυπώσετε.
- **Παρακολούθηση της λειτουργίας με ακουστικά.**
Ο θόρυβος που ανιχνεύεται μπορεί να μετατραπεί σε ακουστική συχνότητα και να ελεγχθεί με ακουστικά, κάτι το οποίο βοηθάει στην εύρεση της πηγής του θορύβου.
- **Δύο τρόποι τροφοδοσίας : Μπαταρίες και AC προσαρμοστής (Adapter)**
- **Προσφέρουν δυνατότητα μεταφοράς για επί τόπου μετρήσεις καθώς και αξιοπιστία για μακροπρόθεσμη παρακολούθηση.**
- **Πρακτικός σχεδιασμός**
Συμπαγές και ελαφρύ αισθητήρα ενός παραδοσιακού οργάνου, μα με όλες τις απαραίτητες εξελιγμένες τεχνολογίες για τη μέτρηση θορύβου

Εισβολή θορύβου σε γραμμές τροφοδοσίας ισχύος και γραμμές επικοινωνίας

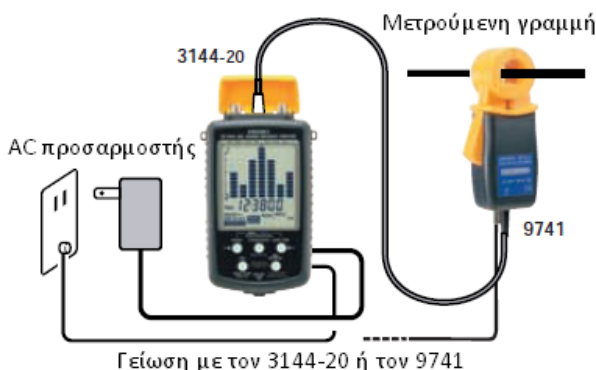
- Πηγές Θορύβου : γραμμές τροφοδοσίας, ηλεκτρικές ράγες, μηχανές με inverter, CB radio εκπομποί.
- Περάσματα μεταφοράς : μέσω γραμμών επικοινωνίας, γραμμών τροφοδοσίας κλπ.
- Περάσματα εισβολής : γραμμές τηλεπικοινωνιών, γραμμές τροφοδοσίας, γραμμές γείωσης, ή άμεση διείσδυση σε μια συσκευή





Επιτόπια παρακολούθηση και ανάλυση στον υπολογιστή των καταγραμμένων δεδομένων

Επιτόπια λειτουργία ανάλυσης και παρακολούθησης



Ο 3144-20 ξεχωρίζει τον θόρυβο της ζώνης από 500 Hz έως και 30 MHz σε 7 ζώνες μέτρησης, και ύστερα εμφανίζει την τάση μέτρησης της κάθε ζώνης συχνοτήτων στα επίπεδα. Η μέτρηση μπορεί να ξεκινήσει απλά τοποθετώντας τον αισθητήρα τάσης 9741 Clamp-on Voltage Sensor στη μετρούμενη γραμμή. Το επίπεδο του θορύβου μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί στην υπό λειτουργία γραμμή χωρίς να χρειάζεται να αφαιρέσετε τη μόνωση της γραμμής. Επιπροσθέτως, εξωτερικά σήματα (εξόδοι από κεραίες ή κοκτινά μαγνητικά πεδία) εκτός από αυτά του 9741, μπορούν να εισαχθούν από την υποδοχή BNC. Όπως στον 9741, το επίπεδό τους σε κάθε ζώνη συχνοτήτων μπορεί να ελεγχθεί και να καταγραφεί.

Καταγραφή στην εσωτερική μνήμη Λειτουργία καταγραφών

Τα δεδομένα των μετρήσεων και οι ώρες σώζονται στην εσωτερική μνήμη στο καθορισμένο διάστημα εγγραφής. Ο 3144-20 μπορεί επίσης να ρυθμιστεί για μακροπρόθεσμη παρατήρηση σε δύο διαφορετικούς τρόπους καταγραφής:
Τρόπος αυτόματου σταματήματος
 Σε αυτόν τον τρόπο, η εγγραφή σταματάει όταν η εσωτερική μνήμη γεμίζει. Χρησιμοποιείστε αυτόν τον τρόπο όταν επιθυμείτε να κρατήσετε όλα τα εγγραμμένα δεδομένα κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

Τρόπος επικάλυψης

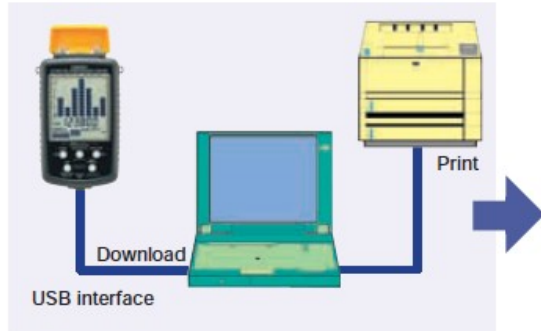
Σε αυτόν τον τρόπο, τα δεδομένα μπορούν να εγγραφούν συνεχόμενα επικαλύπτοντας τα προηγούμενα δεδομένα - ιδανικός για αυτούς που χρειάζονται να ελέγξουν τα δεδομένα όταν παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα.
 Με την λειτουργία peak hold, μπορείτε επίσης να εμφανίσετε την μέγιστη τιμή της κάθε ζώνης συχνοτήτων καθώς και την ώρα ανίχνευσης

■ Ωρα εγγραφής της εσωτερικής μνήμης

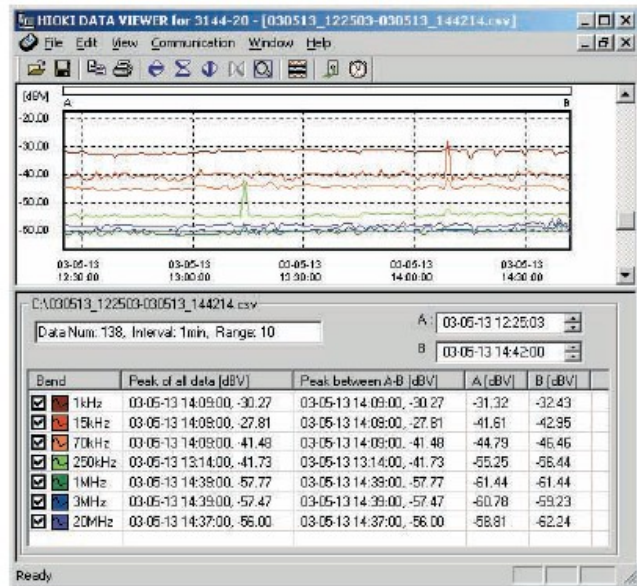
	Τρόπος αυτόματου σταματήματος	Τρόπος επικάλυψης (CONT)
Διάστημα εγγραφής	Μέγιστη ώρα εγγραφής	Ελάχιστη εγγυημένη ώρα εγγραφής
1 sec	17.7 hours	15.5 hours
2 sec	1.4 days	1.2 days
5 sec	3.7 days	3.2 days
10 sec	7.4 days	6.4 days
20 sec	14.8 days	12.9 days
30 sec	22.2 days	19.4 days
1 min	1.4 months	1.2 months
2 min	2.8 months	2.5 months
5 min	7.1 months	6.2 months
10 min	1.1 years	1.0 years
20 min	2.3 years	2.0 years
30 min	3.5 years	3.1 years
60 min	7.1 years	6.2 years

■ **Αναλύστε τα εγγραμμένα δεδομένα σε έναν υπολογιστή με την ομαδοποιημένη εφαρμογή λογισμικού.**

Αυτό το προμηθευμένο λογισμικό για υπολογιστή δίνει τη δυνατότητα γρήγορης μεταφοράς εγγραμμένων δεδομένων από τον 3144-20 σε έναν υπολογιστή. Μπορείτε ύστερα να εμφανίσετε τα δεδομένα σε γραφικές παραστάσεις για να ελέγξετε τις παραλλαγές του θορύβου καθώς και τις ώρες των περιστατικών. Σώστε τις εικόνες ως αρχεία BMP, εκτυπώστε ή χρησιμοποιήστε τις εύκολα αναγνώσιμες πληροφορίες σε πλήρεις εκθέσεις.



■ **Οθόνη λειτουργίας του λογισμικού**



3144-20 Προδιαγραφές

Γενικές Προδιαγραφές

Μονάδες εισόδου :	9741 υποδοχή εισόδου, BNC υποδοχή εισόδου (με προτεραιότητα στον 9741)
Αντίσταση εισόδου :	Είσοδος 9741 50 Ω ±10 % (100 kHz) BNC είσοδος 50 Ω ±10 % (100 kHz), 1 MΩ ±10 %/120 pF ±30 pF (100 kHz χωρητικότητα) (Χειροκίνητη αλλαγή)
Μέγιστη τάση εισόδου :	5 V PEAK
Ζώνες συχνοτήτων :	500 Hz έως 30 MHz, χωρισμένες σε 7 ζώνες (-3 dB ζώνη) 500 Hz έως 3kHz (1 kHz ζώνη) 7.5 kHz έως 22.5 kHz (15 kHz ζώνη) 35 kHz έως 105 kHz (70 kHz ζώνη) 125 kHz έως 375 kHz (250 kHz ζώνη) 0.5 MHz έως 1.5 MHz (1 MHz ζώνη) 1.5 MHz έως 4.5 MHz (3 MHz ζώνη) 10 MHz t έως 30 MHz (20 MHz ζώνη) (BNC είσοδος 50 Ω τερματισμός)
Εύρος μέτρησης :	x1 εύρος 0 dBV (1 V) f.s. Εύρος μέτρησης (0 dBV έως -30 dBV) x10 εύρος -20 dBV (0.1 V) f.s Εύρος μέτρησης (-20 dBV έως -50 dBV)
Μέθοδος ανίχνευσης :	RMS μετατροπή τιμής
Ακρίβεια ανίχνευσης :	500Hz έως 1 MHz ή λιγότερο ±1.5 dBV 1 MHz έως 30 MHz ±2.0 dBV (BNC είσοδος 50 Ω τερματισμός)

<Λειτουργία μέτρησης>

Λειτουργία παρακολούθησης : Εμφάνιση της μετρούμενης τάσης για κάθε ζώνη συχνοτήτων σε επίπεδα στην LCD (2.5 dBV/SEG ισοδύναμα)

Λειτουργία εγγραφής : Τα μετρούμενα δεδομένα και οι ώρες σώζονται στην εσωτερική μνήμη σύμφωνα με το προσδιορισμένο διάστημα εγγραφής

Εσωτερική μνήμη : 8 blocks (1 block περιέχει 8000 στοιχεία δεδομένων)

Στοιχεία δεδομένων : Μέγιστος αριθμός 64000 στοιχείων (8 blocks x 8000 στοιχεία δεδομένων)

Αριθμός μετρήσεων : 1 έως 8 μετρήσεις (εξαρτάται από τον αριθμό των blocks που χρησιμοποιείται σε κάθε μέτρηση

Τρόπος καταγραφής : Τρόπος αυτόματου σταματήματος : Η μέτρηση σταματάει όταν η εσωτερική μνήμη γεμίσει. Μέγιστος αριθμός στοιχείων δεδομένων : 64000
Τρόπος επικάλυψης (CONT) : Όταν η εσωτερική μνήμη γεμίσει, τα παλαιότερα δεδομένα επικαλύπτονται έτσι ώστε η μέτρηση να συνεχιστεί, με ελάχιστη εγγύηση 56000 στοιχεία δεδομένων.

Εφεδρική μνήμη :	Διαθέσιμη. Όταν η τροφοδοσία διακόπτεται η εφεδρική μπαταρία χρησιμοποιείται. Η ενέργεια της εφεδρικής μπαταρίας διαρκεί για περίπου 5 χρόνια (τιμή αναφοράς)
Διάστημα καταγραφής :	1/2/5/10/20/30 δεύτερα 1/2/5/10/20/30/60 λεπτά
Διαγραφή δεδομένων :	Όλα τα δεδομένα διαγράφονται
Λειτουργία εμφάνισης δεδομένων :	Η εμφάνιση της ώρας μετρήσεων και των κατεγραμμένων δεδομένων της κάθε ζώνης συχνότητας όπως γράφονται από την λειτουργία εγγραφής. Υπάρχει δυνατότητα μετακίνησης στον άξονα του χρόνου. Εμφάνιση διάφορων ρυθμίσεων κατά την εγγραφή (εύρος μετρήσεων, διάστημα εγγραφής, και τρόπος καταγραφής). Εμφάνιση της μέγιστης τιμής για κάθε ζώνη συχνότητας από τη λειτουργία κράτισης μέγιστου (Peak Hold).
Λειτουργία Peak Hold (κράτιση μέγιστου) :	Εμφάνιση της μέγιστης τιμής και της ώρας ανίχνευσης για κάθε ζώνη συχνότητας, στις λειτουργίες παρακολούθησης, εγγραφής και εμφάνισης δεδομένων. (στην λειτουργία εμφάνισης δεδομένων, μόνο η μέγιστη τιμή εμφανίζεται.)

Λειτουργίες εξόδου

Παρακολούθηση κυματομορφών :	Εξοδος του σήματος εισόδου από την είσοδο του 9741 ή την είσοδο BNC
Εύρος ζώνης :	500 Hz έως 30 MHz (-3dB) (50 Ω τερματισμός)
Αντίσταση εξόδου :	50 Ω + - 10% (1 kHz)
Αναλογία εισόδου-εξόδου :	2:1 (50 Ω τερματισμός)
Ακρίβεια εξόδου :	± 5%rdg. ± 10mV (50 Ω τερματισμός)
Μέγιστη ανοιχτή τάση :	± 4.5 V
Εύρος ακουστικής παρακολούθησης :	Εξοδος του ανιχνευμένου σήματος (ρύθμιση της έντασης διαθέσιμη) Παρακολούθηση με προμηθευμένα ακουστικά

Λειτουργίες επικοινωνίας

Περιεκτικότητα επικοινωνίας :	Μεταφορά των εγγραμμένων δεδομένων από την εσωτερική μνήμη του 3144-20 στον υπολογιστή
Διεπαφή :	USB Ver. 1.1

Άλλες προδιαγραφές

Τροφοδοσία :	AA μέγεθος αλκαλικές μπαταρίες (LR6) x 6, DC9 V 500 mA (9445-02 ή 9445-03 AC προσαρμοστής, ονομαστική τάση AC 100 V έως 240 V, 50/60 Hz, μέγιστο ονομαστικό ρεύμα 250 mA)
Συνεχής ώρα χρήσης :	Περίπου 5 ώρες (τιμή αναφοράς βασισμένη στη χρήση μπαταρίας και την λειτουργία παρακολούθησης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 23 °C

Θερμοκρασία λειτουργίας και υγρασία :	0 έως 40°C, 80%rh ή λιγότερο (χωρίς συμπύκνωση)
Προειδοποίηση μπαταρίας :	Εμφάνιση του συμβόλου της μπαταρίας όταν η τάση τροφοδοσίας είναι περίπου 6,5 V
Ρύθμιση ώρας :	Χρόνος, μήνας, μέρα, ώρα, λεπτό, κα δευτερόλεπτο. Είσοδος με πλήκτρο
Ισχύον πρότυπο :	Ασφάλεια : EN61010-1: 2001, κατηγορία μέτρησης Ι, βαθμός ρύπανσης 2, προβλεπόμενη υπέρταση 330 V EMC : EN61326 : 1997+A1 : 1998+A2 : 2001 (Όταν χρησιμοποιείται ο 9445-AC adapter), EN61000-3-2 : 2000, EN61000-3-3 : 1995+A1 : 2001
Διαστάσεις και μάζα :	98 ± 2 (W) x 179 ± 2 (H) x 46 ± 1 (D) mm, 430g ± 50g (χωρίς τις μπαταρίες)
Εγγυημένη περίοδος ακρίβειας :	1 χρόνος
Λειτουργίες του προμηθευμένου λογισμικού :	Λίστα εμφάνισης δεδομένων, κατέβασμα δεδομένων, εμφάνιση χρονικών κυματομορφών δεδομένων, εμφάνιση μέγιστης τιμής και ώρας ανίχνευσης, λειτουργίες αύξησης και μείωσης, επικόλληση στο clipboard, αποθήκευση δεδομένων, αποθήκευση σε αρχείο BMP, εκτύπωση
Αξεσουάρ :	9741 Clamp on Voltage Sensor, τσάντα μεταφοράς, λογισμικό υπολογιστή σε CD-R, AA-μέγεθος αλκαλικές μπαταρίες (LR6) x 6, καλώδιο USB, λουρί, 9445-02 AC adapter (UL) ή 9445-03 AC Adapter (CEE), ακουστικά

9741**Προδιαγραφές**

Διαμόρφωση αισθητήρα :	Ηλεκτροστατικός αισθητήρας τάσης χωρίς επαφή
Εύρος συχνότητας :	600 Hz έως 30 MHz (-3dB εύρος)
Εξοδος αισθητήρα :	Τάση εξόδου
Αντίσταση εξόδου :	50 Ω ± 10% (1 KHz)
Μετρίσιμη διάμετρος αγωγού :	φ20 mm
Μέγιστη εκτιμημένη τάση προς τη γη :	AC 200 V
Μήκος καλωδίου :	Περίπου 1 m
Τάση τροφοδοσίας :	±5V (προμηθεύεται μέσω σύνδεσης με τον 3144)
Θερμοκρασία λειτουργίας και υγρασία :	0 έως 40 °C, 80%rh ή λιγότερο (χωρίς συμπύκνωση)
Ισχύον πρότυπο :	Ασφάλεια : EN61010-1:2001, κατηγορία μέτρησης III, βαθμός ρύπανσης 2, προβλεπόμενη υπέρταση 4000 V EMC : EN61326 : 1997+A1 : 1998+A2 : 2001
Διαστάσεις και μάζα :	62 ± 1 (W) x 158 ± 2 (H) x 40 ± 1 (D) mm, 260g ± 30g
Εγγυημένη περίοδος ακρίβειας :	1 χρόνος

Ο 3144-20 Noise Search Tester είναι ένα εμπορεύσιμο προϊόν βασισμένο στις τεχνολογίες των Nippon Telegraph και Telephone East Corporation Technology Center



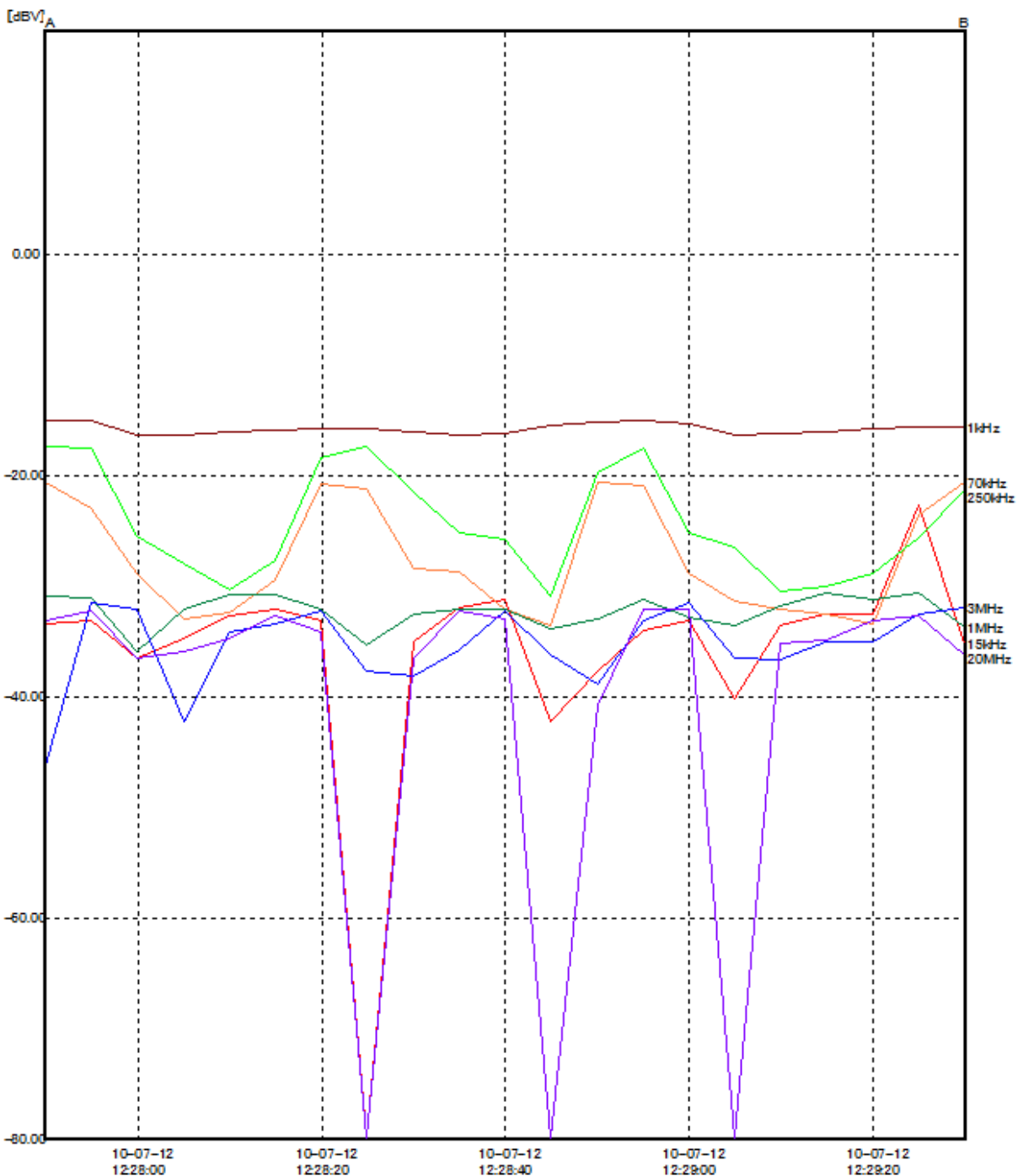
3144-20 accessory set

Κεφάλαιο 4 – Μετρήσεις, συμπεράσματα

4.1 Απλό probe – Θωρακισμένο probe

Στο εργαστήριο ηλεκτρονικών ρυθμίσαμε μια γεννήτρια συχνοτήτων στο 1MHz και τη συνδέσαμε στον παλμογράφο. Στην πρώτη περίπτωση η σύνδεση έγινε με απλό probe, ενώ στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιήσαμε probe θωρακισμένο για να μην δέχεται παρεμβολές. Και στις δύο περιπτώσεις τοποθετήσαμε κοντά στα καλώδια μια πηγή DC ρεύματος για να δημιουργηθούν παρεμβολές. Ύστερα μετρήσαμε με τον Noise search tester τη γραμμή σύνδεσης της γεννήτριας συχνοτήτων και του παλμογράφου. Ρυθμίσαμε το όργανο να παίρνει μετρήσεις κάθε 5 δευερόλεπτα (interval 5 sec).

Το αποτέλεσμα στην πρώτη περίπτωση των απλών probes ήταν το παρακάτω :



File Name: thorakismeno.csv

Data Num: 19, Interval: 5sec, Range: 1

Cursor position A: 10-07-12 12:25:10 B: 10-07-12 12:26:40

Band	Peak of all data [dBV]	Peak between A-B [dBV]	A [dBV]	B [dBV]
1kHz	10-07-12 12:26:20, -16.15	10-07-12 12:26:20, -16.15	-17.58	-16.90
15kHz	10-07-12 12:26:05, -31.30	10-07-12 12:26:05, -31.30	-33.79	-35.80
70kHz	10-07-12 12:26:20, -22.32	10-07-12 12:26:20, -22.32	-30.42	-22.49
250kHz	10-07-12 12:26:40, -18.97	10-07-12 12:26:40, -18.97	-26.33	-18.97
1MHz	10-07-12 12:26:35, -31.52	10-07-12 12:26:35, -31.52	-33.79	-37.47
3MHz	10-07-12 12:26:25, -31.74	10-07-12 12:26:25, -31.74	-35.61	-34.17
20MHz	10-07-12 12:25:15, -32.60	10-07-12 12:25:15, -32.60	-33.21	-38.09

Όπου οι παρεμβολές στο εύρος συχνοτήτων 20MHz και 15KHz είναι λιγότερο συχνές, ενώ στις υπόλοιπες συχνότητες σχεδόν μηδαμινές.

4.2 Συνεχόμενη λειτουργία μοτέρ – διακοπτόμενη λειτουργία μοτέρ

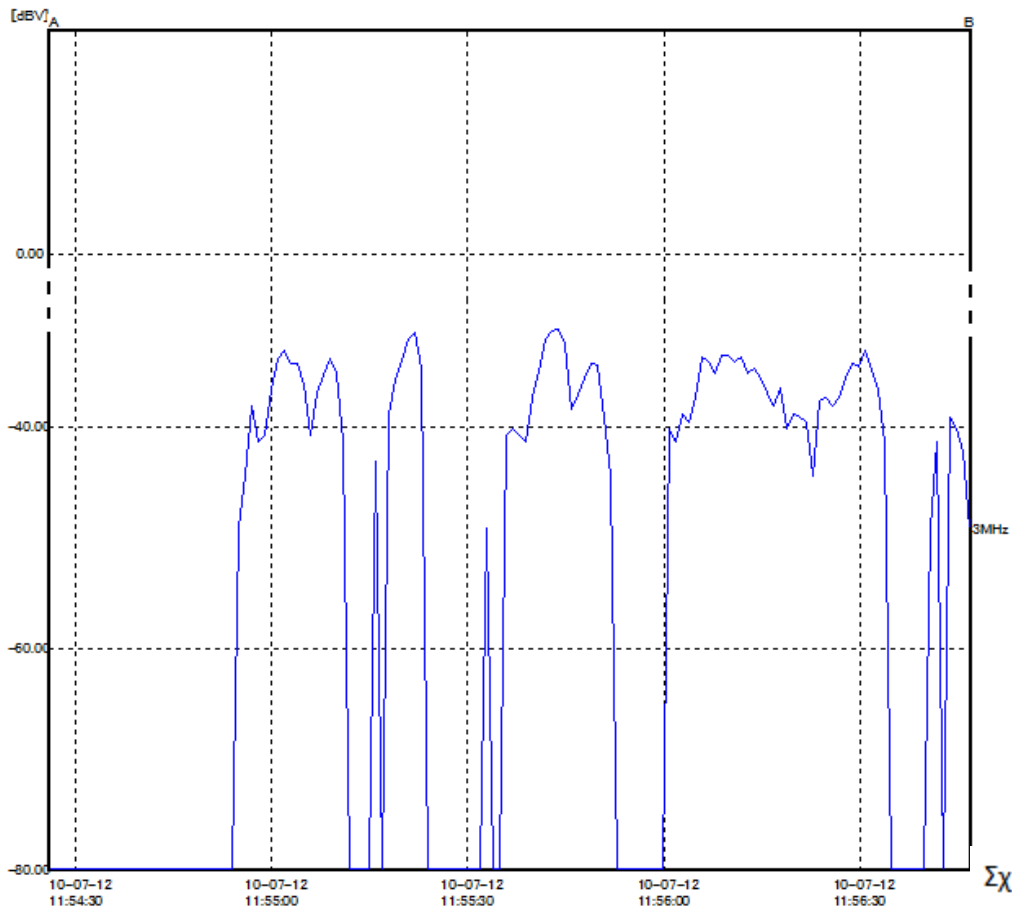
Στη συνέχεια, μετρήσαμε το θόρυβο πάνω σε μία γραμμή με την οποία τροφοδοτούσαμε μια συσκευή σεσουαρ. Στην πρώτη περίπτωση τοποθετήσαμε ένα μικρό μοτέρ δίπλα στο καλώδιο και το αφήσαμε να λειτουργεί για ένα διάστημα. Στη δεύτερη περίπτωση τοποθετήσαμε το ίδιο μοτέρ δίπλα στο καλώδιο, και γυρνούσαμε τον διακόπτη τότε στο on τότε στο off, για να πετύχουμε παρεμβολές στο καλώδιο λόγω διαδοχικών εκκινήσεων του κινητήρα.

Στην πρώτη περίπτωση πήραμε τις μετρήσεις του σχήματος 4.1.

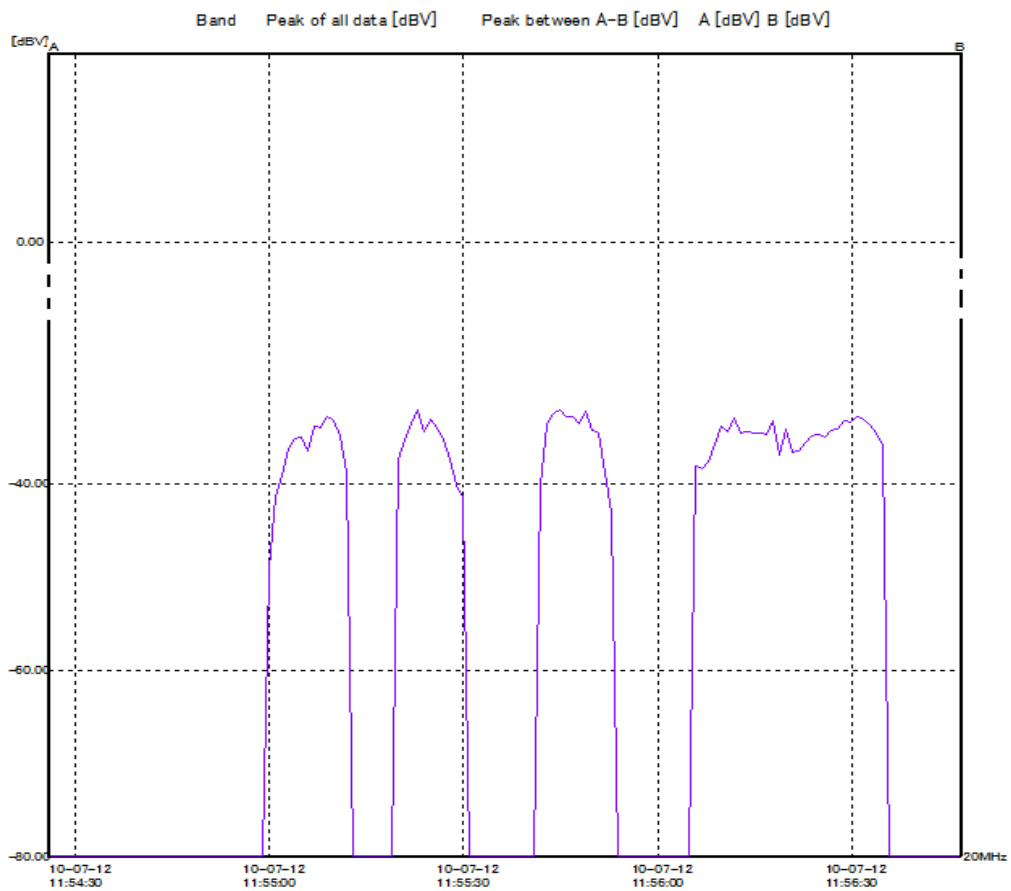
Στη δεύτερη περίπτωση πήραμε τις μετρήσεις του σχήματος 4.2.

Παρατηρούμε ότι και στις δύο περιπτώσεις υπάρχουν παρεμβολές στο εύρος συχνοτήτων από 3 έως 20MHz, στην πρώτη περίπτωση ωστόσο όπου το μοτέρ λειτουργούσε κανονικά οι παρεμβολές είναι λιγότερο συχνές και μικρότερης διάρκειας, ενώ στη δεύτερη περίπτωση οι παρεμβολές είναι εντονότερες.

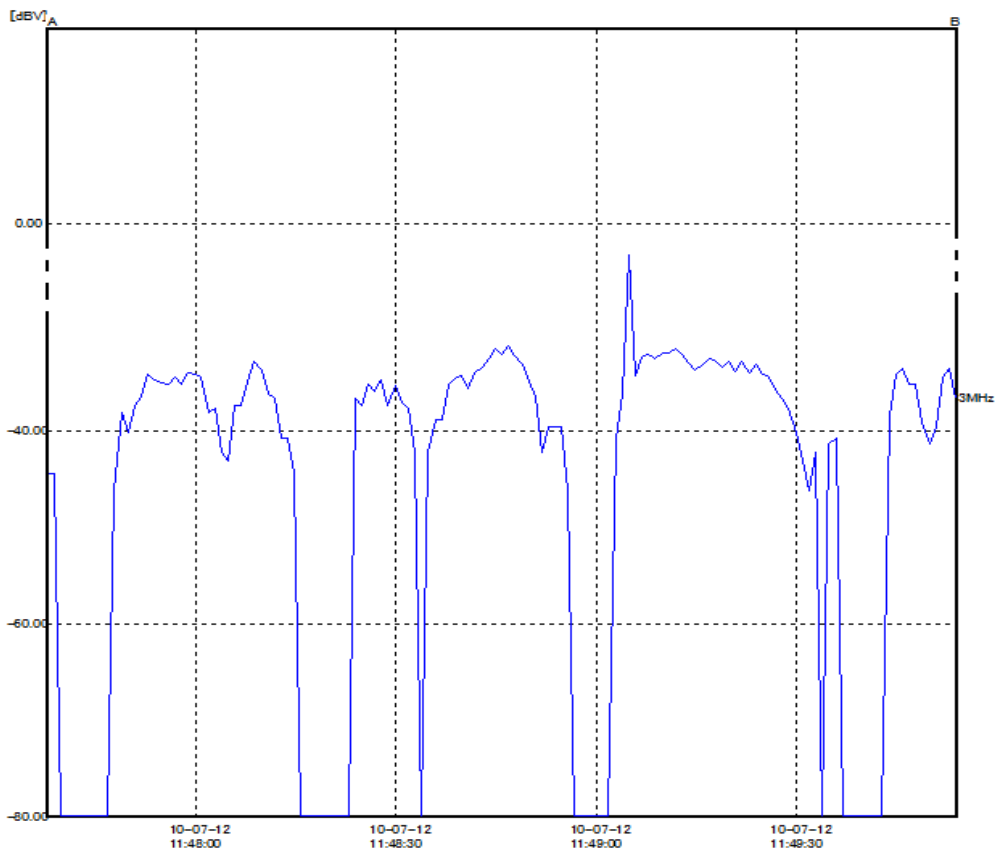
Αυτό συμβαίνει λόγω των απότομων μεταβολών του ρεύματος και του ρεύματος εκκίνησης καθώς αναβοσβήνουμε το κινητήρα.



Σχήμα 4.1

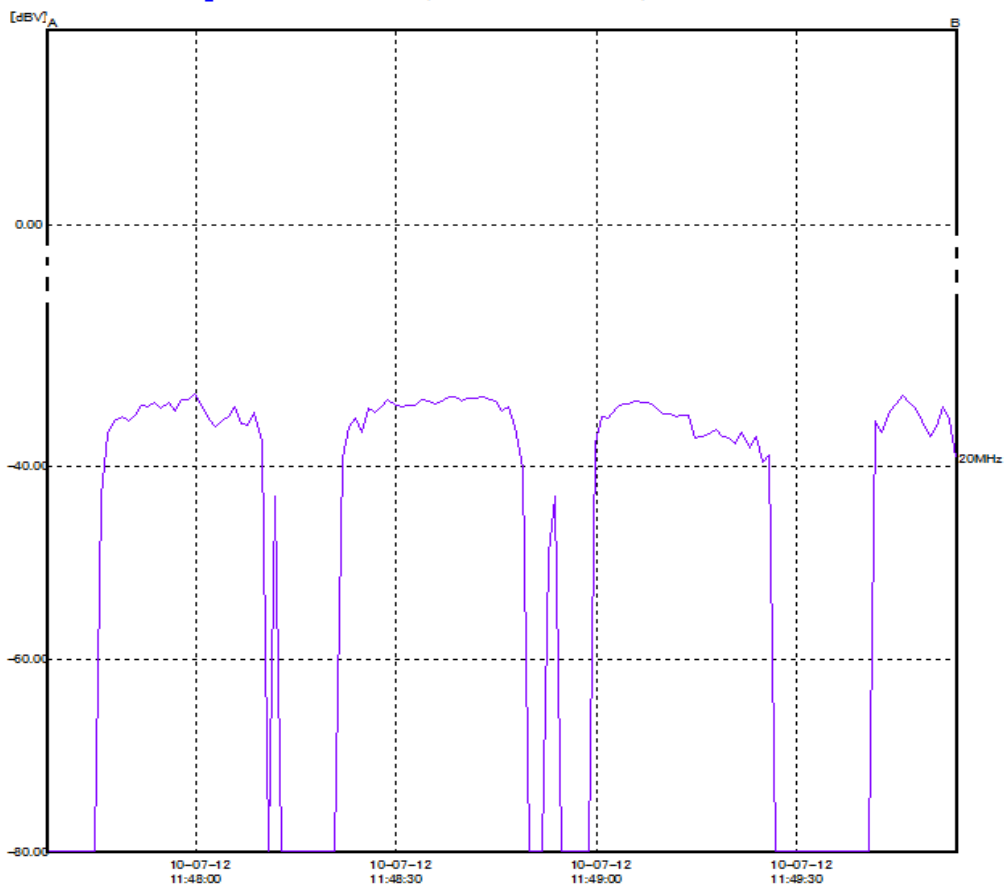


Band	Peak of all data [dBV]	Peak between A-B [dBV]	A [dBV]	B [dBV]
20MHz	10-07-12 11:55:23, -32.15	10-07-12 11:55:23, -32.15	-80.00	-80.00



Band	Peak of all data [dBV]	Peak between A-B [dBV]	A [dBV]	B [dBV]
3MHz	10-07-12 11:49:05, -21.89	10-07-12 11:49:05, -21.89	-44.46	-36.67

Σχήμα 4.2



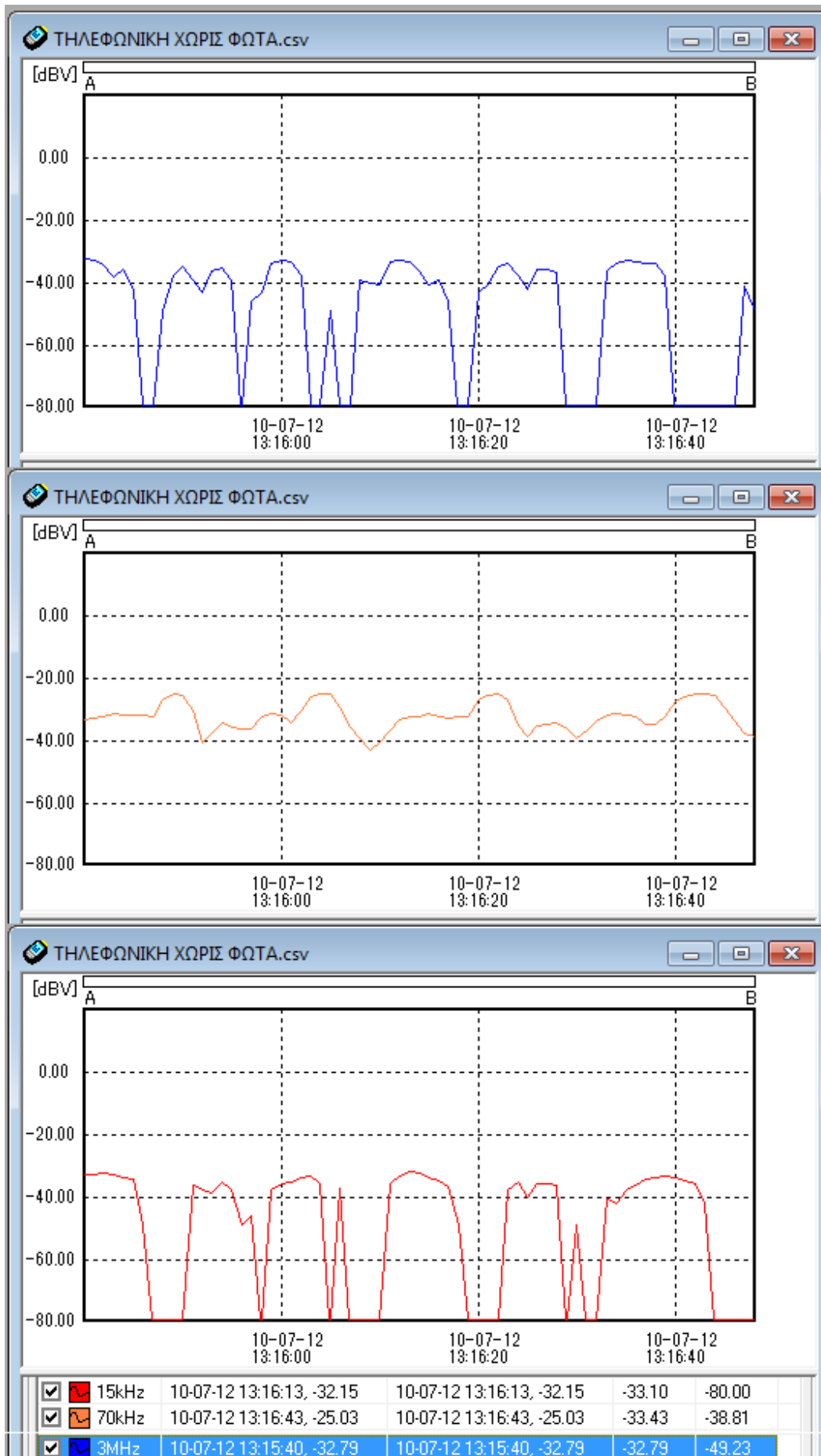
Band	Peak of all data [dBV]	Peak between A-B [dBV]	A [dBV]	B [dBV]
20MHz	10-07-12 11:48:00, -32.60	10-07-12 11:48:00, -32.60	-80.00	-39.23

4.3 Λάμπες φθορισμού αναμμένοι – σβηστοί

Μετρήσαμε με το όργανο μια γραμμή τηλεφωνική εντός του εργαστηρίου Ηλεκτρονικών και λάβαμε πάλι δύο περιπτώσεις μετρήσεων. Μία με τους λαμπτήρες φθορισμού αναμμένους και μία με τους λαμπτήρες φθορισμού σβηστούς. Το όργανο μέτρησε θόρυβο και στις δύο περιπτώσεις με κάποιες μικρές αλλαγές στις ζώνες συχνοτήτων 15 και 70 kHz.



<input checked="" type="checkbox"/>	■ 15kHz	10-07-12 13:14:34, -32.51	10-07-12 13:14:34, -32.51	-34.46	-80.00
<input checked="" type="checkbox"/>	■ 70kHz	10-07-12 13:15:32, -24.82	10-07-12 13:15:32, -24.82	-34.75	-31.16
<input checked="" type="checkbox"/>	■ 3MHz	10-07-12 13:14:54, -32.89	10-07-12 13:14:54, -32.89	-32.99	-80.00

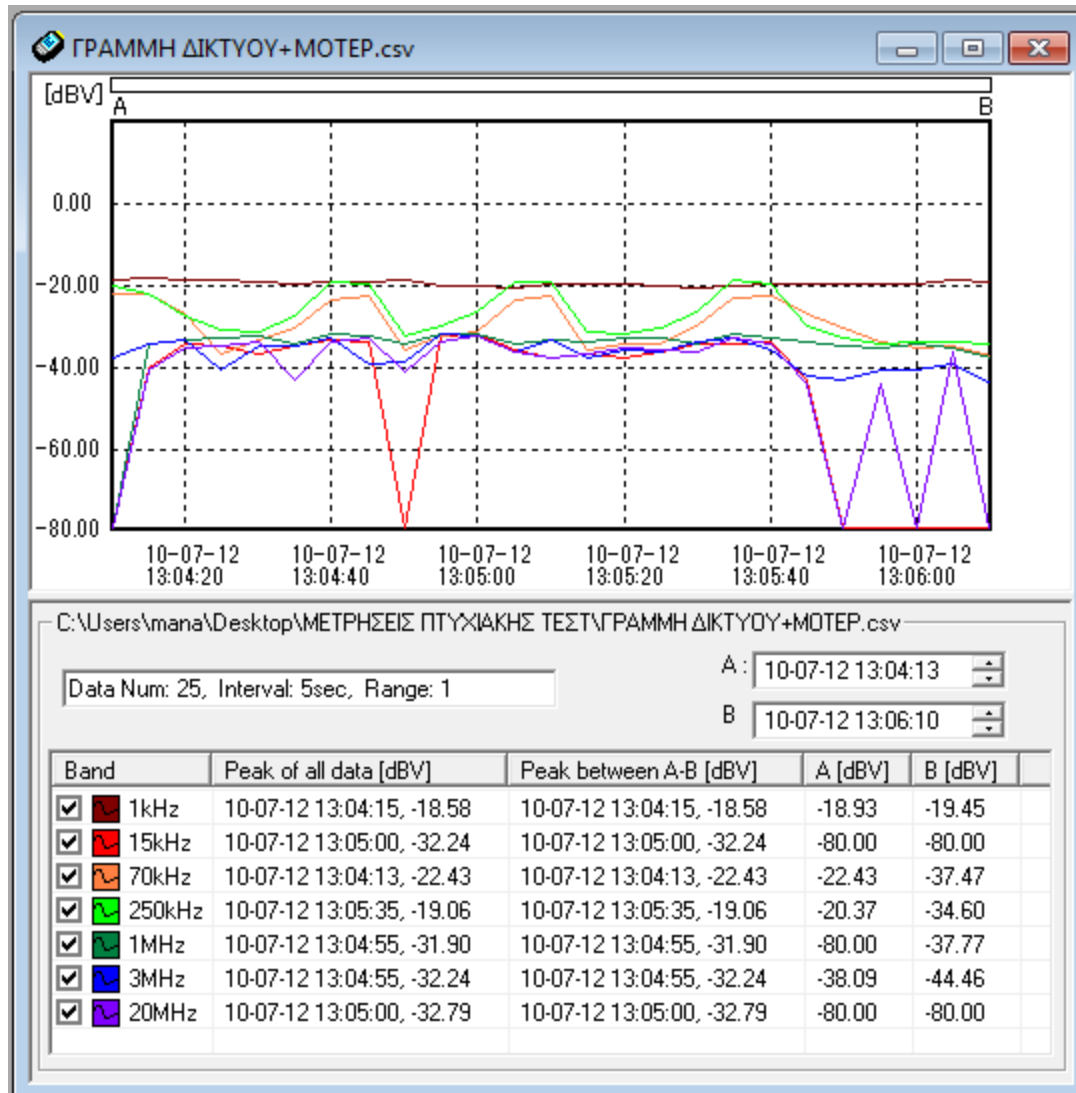


4.4

Άλλες μετρήσεις

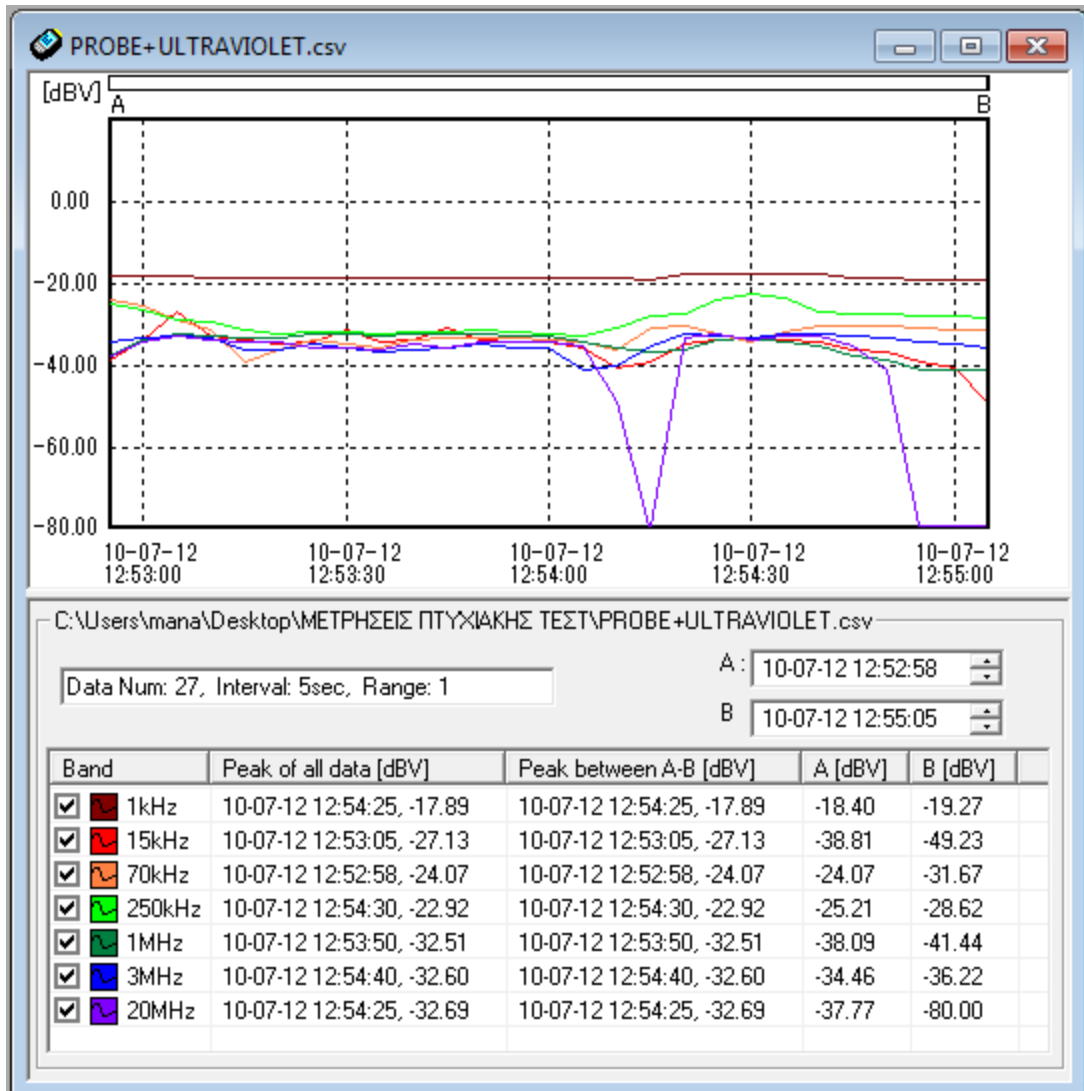
Κατά τη διάρκεια της μέρας πραγματοποιήσαμε διάφορες άλλες μετρήσεις από κάποιες από τις οποίες βγαίνουν κάποια συμπεράσματα ενώ από άλλες όχι. Κάποιες από αυτές είναι οι παρακάτω :

Μέτρηση γραμμής δικτύου που τροφοδοτεί κινητήρα μικρής ισχύος στο χώρο του εργαστηρίου Ηλεκτρονικών :

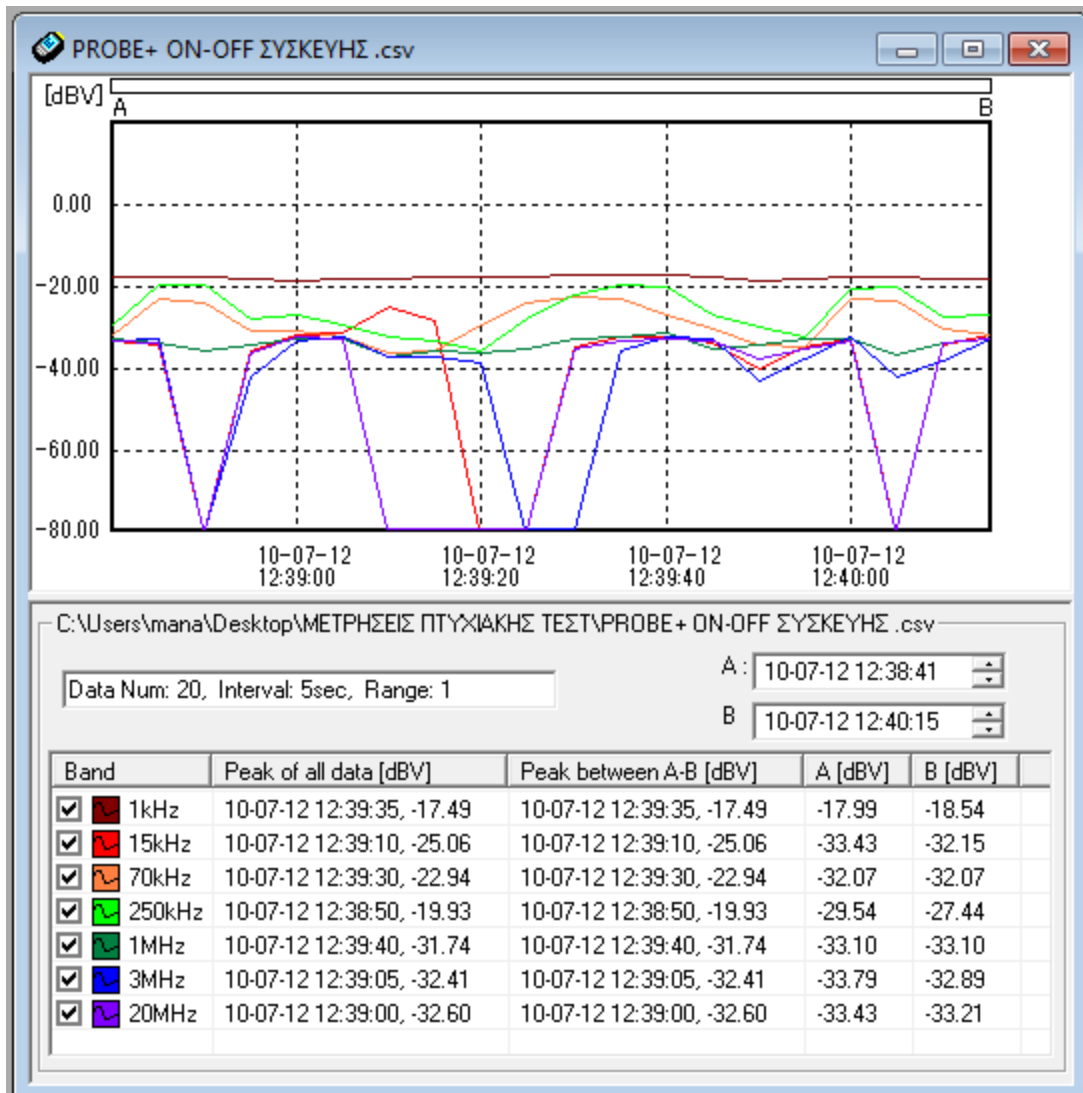


Παρατηρούνται διακυμάνσεις στις συχνότητες των 15kHz και 20 MHz.

Μέτρηση της γραμμής σύνδεσης της γεννήτριας συχνότητων (ρυθμισμένη στο 1MHz) και του παλμογράφου, με μία συσκευή υπεριώδους ακτινοβολίας σε λειτουργία κοντά στο χώρο μετρήσεων (προμηθεύτηκε από το εργαστήριο Ηλεκτρονικών) :



Τέλος, μέτρηση της γραμμής σύνδεσης της γεννήτριας συχνοτήτων (ρυθμισμένη στο 1MHz) και του παλμογράφου, με μία συσκευή DC ρεύματος κοντά στην περιοχή μετρήσεων να αναβοσβήνει χειροκίνητα.



Βιβλιογραφία :

<http://www.ceid.upatras.gr/faculty/alexiou/ahts/notes/kef02.pdf>

http://www.chem.uoa.gr/courses/organologia/PDF/Ch05_1xy.pdf

http://www.ceid.upatras.gr/faculty/alexiou/ahts/presentations/02_Noise.pdf

http://www.ece.ucy.ac.cy/courses/ece305/lectures/7/ECE305_7.pdf

<http://diktya-epal-b.ggia.info/>

<http://www.educyclopedia.be/>

<http://en.wikipedia.org/>

Άρθρο από : Ethesis, καλώδια με ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, Ευθύμιος Μπαρλίγκας – Χρύσα Ζούλη

Instruction Manual 3144-20 Noise Search Tester