

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

Ανάπτυξη εφαρμογής για μέτρηση  
ηλεκτρομαγνητικών πεδίων σταθμών  
εκπομπής σημάτων FM  
από φορητό αναλυτή φάσματος

Σπουδαστής :

Μπελίτσης Δ. Γεράσιμος

Εισηγητής :

Στρατάκης Δημήτριος

*Ευχαριστούμε θερμά τον υπεύθυνο της Πτυχιακής μας εργασίας κ.  
Στρατάκη Δημήτρη, για την πολύτιμη βοήθειά του στην υλοποίηση της παρούσας  
εργασίας. Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τους γονείς μας για την  
στήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας, η οποία συνέβαλε στο να  
φτάσουμε στο σημερινό μας στόχο.*

*Σας ευχαριστώ,  
Μπελίτσης Γεράσιμος*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑ .....	6
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ .....	7
2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ Ο ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ .....	8
2.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ .....	8
2.2 ΤΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΑΛΥΤΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ .....	10
2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΑΛΥΤΩΝ ΦΑΣΜΑΤΟΣ .....	13
2.3.1 Fourier Analyzer .....	13
2.3.2. Swept Tuned.....	14
3. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΝΑΛΥΤΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ .....	15
3.1 ΜΙΚΤΗΣ .....	17
3.2 IF ΦΙΛΤΡΟ .....	18
3.3 ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ .....	19
3.4 ΦΙΛΤΡΟ ΒΙΝΤΕΟ.....	21
3.5 ΑΛΛΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	22
3.6 ΠΩΣ ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΝΤΑΙ ΤΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ .....	24
3.7 ΠΛΗΚΤΡΑ ΣΤΟ ΕΜΠΡΟΣ ΜΕΡΟΣ .....	26
4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	27
4.1. ΣΥΧΝΟΤΙΚΟ ΕΥΡΟΣ.....	28
4.2. ΑΚΡΙΒΕΙΑ .....	30
4.3. ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ.....	31
4.4. ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΠΛΑΤΟΥΣ.....	33
4.5. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ .....	35
4.6. ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ.....	36
4.7. ΑΝΑΛΥΣΗ (RESOLUTION).....	39
4.8. RESOLUTION BANDWIDTH .....	40
4.9. ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ (SELECTIVITY).....	42
4.10. ΘΟΡΥΒΟΣ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ .....	45

4.11 ΧΡΟΝΟΣ ΣΑΡΩΣΗΣ .....	46
4.12. ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ.....	48
4.13RF ΕΞΑΣΘΕΝΗΤΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ .....	49
4.14 IF ΦΙΛΤΡΟ .....	50
4.15VIDEO ΦΙΛΤΡΟ.....	51
4.16 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ.....	54
4.17 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ .....	59
5. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ .....	65
6. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΧΡΟΝΟΥ .....	68
6.1 ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ/FFT .....	70
6.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ TIME – GATING .....	73
6.3 ΜΑΡΚΑΡΙΣΜΑ ΘΟΡΥΒΟΥ .....	75
7. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ SCPI .....	76
8. ΕΝΤΟΛΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΝΑΛΥΤΗ .....	78
ΕΝΤΟΛΕΣ ΜΕ ΙΧΝΗ .....	85
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ.....	91
ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	97
ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ ΤΟ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ .....	100
ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ .....	103
ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	108
9. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΣΤΑΘΜΟΫΣ FM .....	114
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	117

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας ήταν η δημιουργία κατάλληλου λογισμικού που θα τρέχει σε Matlab και θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον πλήρη χειρισμό μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή του Αναλυτή Φάσματος (Spectrum Analyzer) Rohde & Schwarz (R&S) FSH8 9KHz-8GHz που διαθέτει το Εργαστήριο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής του ΤΕΙ Κρήτης. Το λογισμικό που θα αναπτυχθεί θα ικανοποιεί τις παρακάτω απαιτήσεις:

- Θα μπορεί να ανιχνεύει την κάθε ρύθμιση του Spectrum Analyser.
- Θα μπορεί να τροποποιεί την κάθε ρύθμιση του Spectrum Analyser λαμβάνοντας υπόψιν τους περιορισμούς που εμφανίζονται από τον συσχετισμό των ρυθμίσεων μεταξύ τους.
- Θα μπορεί να εφαρμόζει στον Αναλυτή Φάσματος γενικευμένες ρυθμίσεις για τη μέτρηση σε φασματικές περιοχές συγκεκριμένων Radio Standards.
- Θα μπορεί να καταγράψει τις ρυθμίσεις μιας συγκεκριμένης μέτρησης καθώς και τις μετρούμενες ποσότητες.
- Θα μπορεί να εισάγει και να τροποποιήσει μετρήσεις σε βάση δεδομένων.
- Θα μπορεί να κάνει γραφική παρουσίαση των καταγεγραμμένων και αποθηκευμένων μετρήσεων.

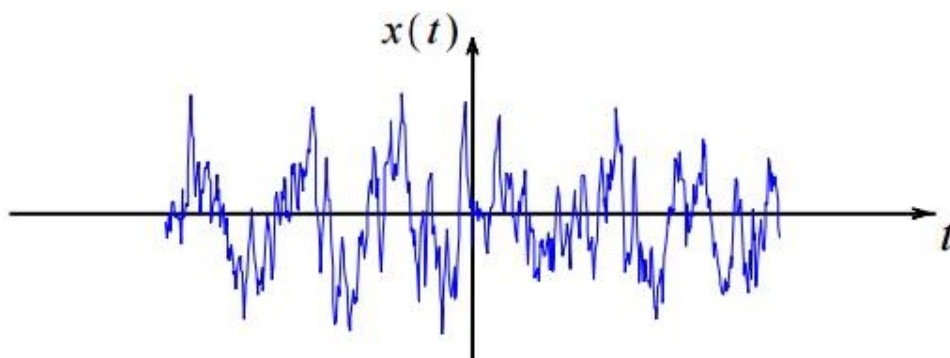
## 1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΗΜΑ

Ως σήμα ορίζεται ένα φυσικό μέγεθος το οποίο μεταβάλλεται σε σχέση με το χρόνο ή το χώρο ή με οποιαδήποτε άλλη ανεξάρτητη μεταβλητή ή μεταβλητές.

Παραδείγματα: Σήμα ομιλίας, Σήμα εικόνας, Σεισμικά σήματα, Ιατρικά σήματα . Από μαθηματική άποψη, ένα σήμα εκφράζεται ως συνάρτηση μιας ή περισσοτέρων ανεξαρτήτων μεταβλητών

$$t \rightarrow x(t)$$

Η ανεξάρτητη μεταβλητή  $t$  είναι συνήθως ο χρόνος, ή οποία μπορεί να έχει και άλλη φυσική σημασία. Με  $x(t)$  συμβολίζεται η τιμή του σήματος τη χρονική στιγμή  $t$ .



Γραφική αναπαράσταση ενός συνεχούς σήματος

## ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Ένα διαμορφωμένο σήμα κατά FM περιγράφεται από την παρακάτω σχέση

$$y = A \sin[(2\pi Ft)K \cos(2\pi ft)]$$

όπου  $F$  η συχνότητα του φέροντος σήματος,  $f$  η συχνότητα του σήματος πληροφορίας,  $A$  το πλάτος (σε Volt) του φέροντος σήματος και  $K$  ένας συντελεστής της FM (αδιάστατο μέγεθος).

Η κύρια εφαρμογή της διαμόρφωσης FM είναι στην ραδιοφωνία. Η τεχνική αυτή έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι επηρεάζεται ελάχιστα από παράσιτα γι' αυτό έχει επικρατήσει στις περισσότερες εφαρμογές έναντι της παλαιότερης διαμόρφωσης, της AM. Απαιτεί όμως υψηλότερες συχνότητες φέροντος σήματος γι' αυτό σε εκπομπές σε χαμηλότερες ζώνες όπως στα μακρά και στα μεσαία κύματα χρησιμοποιείται ακόμα η AM. Η διαμόρφωση FM χρησιμοποιείται επίσης και στην διαμόρφωση του ήχου στο αναλογικό τηλεοπτικό σήμα (το σήμα εικόνας είναι διαχωρισμένο και διαμορφώνεται με διαμόρφωση AM).

Η στιγμιαία συχνότητα είναι ανάλογη του προς διαμόρφωση σήματος.

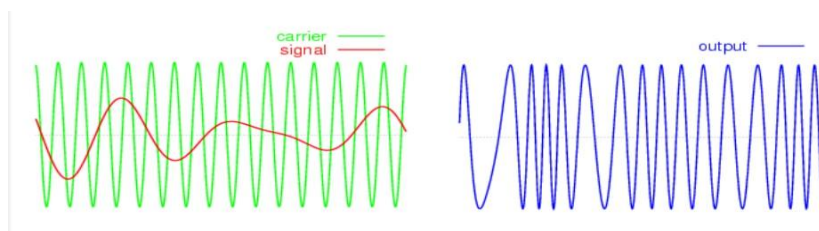
$$f_i(t) = f_c + k_f m(t)$$

Ο πρώτος όρος αντιστοιχεί στο αδιαμόρφωτο φέρον και η σταθερά  $k_f$  είναι η **ευαισθησία συχνότητας**. Η στιγμιαία γωνία είναι:

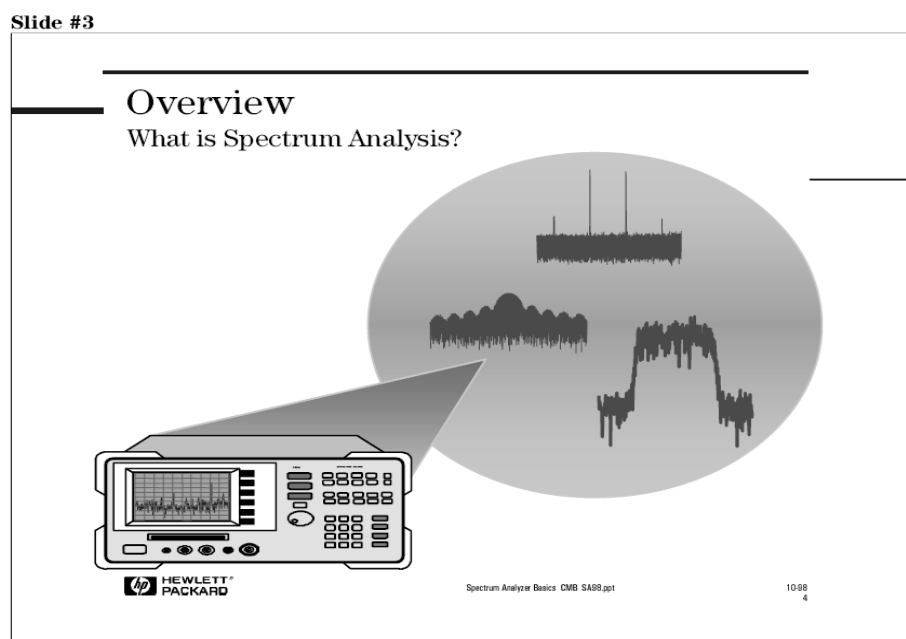
$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(t) dt$$

Το διαμορφωμένο σήμα FM είναι:

$$s(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(t) dt \right]$$



## 2.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ



Στον σχεδιασμό, τη κατασκευή ή στην επισκευή μιας ηλεκτρονικής συσκευής, χρειαζόμαστε ένα εργαλείο που θα βοηθήσει στην ανάλυση των ηλεκτρικών σημάτων που κάνουν την ηλεκτρονική συσκευή να λειτουργεί, έτσι ώστε να καθορίσουμε την απόδοση του συστήματος, να εντοπιστούν σφάλματα-δυσλειτουργίες κτλ.

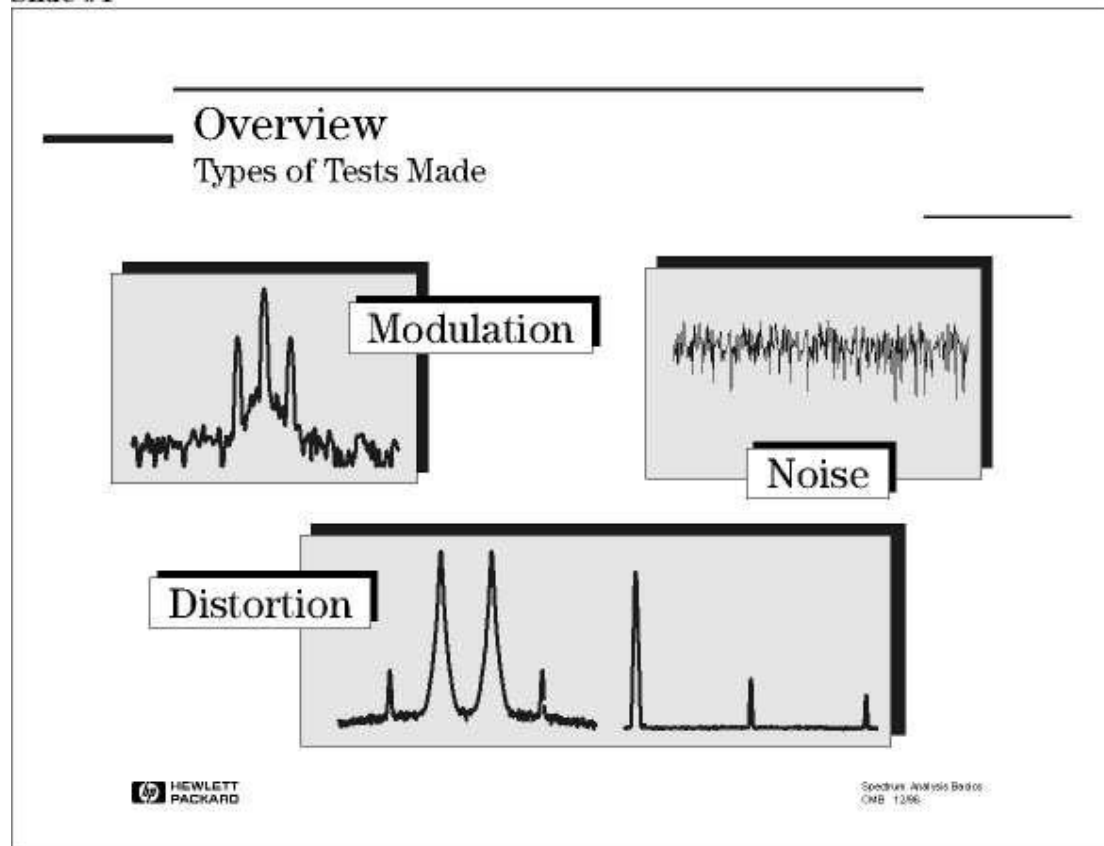
Για να μετρήσουμε λοιπόν αυτά τα ηλεκτρικά σήματα με σκοπό να δούμε τι ακριβώς συμβαίνει σε αυτά καθώς διέρχονται μέσα από μία ηλεκτρική συσκευή, χωρίς να επηρεάζουμε με οποιοδήποτε τρόπο το σήμα, χρειαζόμαστε ένα παθητικό δέκτη (passive receiver) ο οποίος απλώς θα το απεικονίζει με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εύκολο να το αναλύσουμε. Ο δέκτης αυτός είναι ο Αναλυτής Φάσματος, ο οποίος απεικονίζει ανεπεξέργαστη πληροφορία για το σήμα όπως, πλάτος, ισχύς, περίοδο, πλευρικές μπάντες και συχνότητα, δίνοντάς μας έτσι μια καθαρή και ακριβή εικόνα του φάσματος στο πεδίο της συχνότητας.



Ανάλογα με την εφαρμογή, ένα σήμα μπορεί να έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, στις τηλεπικοινωνίες, για να αποστείλουμε πληροφορία όπως φωνή ή δεδομένα, το σήμα πρέπει να διαμορφωθεί σε ένα φέρον υψηλότερης συχνότητας. Το διαμορφωμένο αυτό σήμα έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά βασισμένα στο είδος της διαμόρφωσης που χρησιμοποιούμε, π.χ. όταν ασχολούμαστε με μη-γραμμικές συσκευές όπως ενισχυτές ή μίκτες, είναι σημαντικό να καταλάβουμε πώς και τι είδους παραμορφώσεις παράγονται και τι μορφή έχουν αυτές οι παραμορφώσεις. Με το να καταλάβουμε τα χαρακτηριστικά του θορύβου και το πώς ένα σήμα θορύβου διαφέρει σε σχέση με άλλα είδη σημάτων μπορεί να μας βοηθήσει στο να αναλύσουμε την συσκευή/ σύστημα μας.

## 2.2 ΤΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΑΛΥΤΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

Slide #4



Οι πιο συχνές μετρήσεις που πραγματοποιούνται με Αναλυτή Φάσματος είναι: διαμόρφωση, παραμόρφωση και θόρυβος.

Για να είμαστε σίγουροι ότι ένα σύστημα λειτουργεί κατάλληλα και ότι η πληροφορία μας μεταδίδεται σωστά θα πρέπει να έχουμε τη δυνατότητα να μετρήσουμε την ποιότητα της διαμόρφωσης που παρέχει το σύστημα. Σημαντικές μετρήσεις ειδικά στις τηλεπικοινωνίες είναι το ποσό της ισχύς που μεταδίδεται, το φασματικό περιεχόμενο καθώς επίσης και ο βαθμός διαμόρφωσης, το πλάτος πλευρικών, η ποιότητα διαμόρφωσης και το τρέχον κατειλημμένο εύρος ζώνης.

Σημαντική επίσης είναι για τον πομπό και το δέκτη η μέτρηση της παραμόρφωσης. Υπερβολική αρμονική παραμόρφωση στην έξοδο ενός πομπού μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές σε άλλες ζώνες συχνοτήτων. Στα στάδια προ-ενίσχυσης στο δέκτη δεν πρέπει υπάρχει παραμόρφωση ενδοδιαμόρφωσης (intermodulation distortion) για να αποφευχθεί το φαινόμενο Crosstalk (παρεμβολή

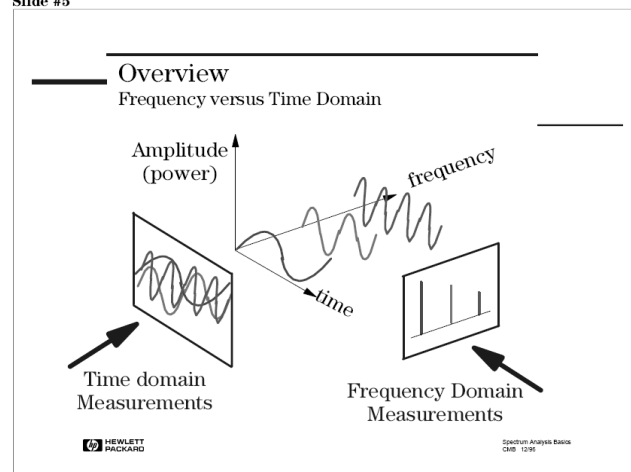
του ενός καναλιού στο άλλο). Επομένως οι πιο συχνές μετρήσεις παραμόρφωσης είναι αυτές της παραμόρφωσης ενδοδιαμόρφωσης (intermodulation distortion), παραμόρφωσης αρμονικών και παραμόρφωσης εικονικής εκπομπής (spurious emissions).

Ο θόρυβος είναι από τα πολύ βασικά σήματα που θέλουμε να μετρήσουμε. Οποιοδήποτε ενεργό ηλεκτρονικό κύκλωμα ή συσκευή είναι καταδικασμένη να παράγει θόρυβο. Διάφορες ενδείξεις όπως noise figure και Λόγος Σήματος προς Θόρυβο (SNR –Signal to Noise Ratio) είναι σημαντικές στο να απεικονίζουν τις επιδόσεις μιας συσκευής και την συνεισφορά της στον συνολικό θόρυβο του συστήματος.

Για όλες τις παραπάνω μετρήσεις ενός αναλυτή φάσματος, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε την λειτουργία του φασματικού αναλυτή και τις δυνατότητες που χρειάζεται να έχει ο αναλυτής φάσματος έτσι ώστε να πραγματοποιήσει μια συγκεκριμένη μέτρηση και να κάνει τεστ προδιαγραφών.

#### Spectrum Analysis Basics

Slide #5



Μια σημαντική πληροφορία σχετικά με ένα ηλεκτρικό σήμα που δίνει π.χ ένας παλμογράφος είναι η μεταβολή του σήματος κατά τη διάρκεια του χρόνου, όμως αυτό δεν μας παρέχει τη συνολική εικόνα του σήματος. Για να έχουμε πλήρη εικόνα της απόδοσης του συστήματος θα πρέπει επιπλέον να αναλύσουμε το σήμα μας στο πεδίο της συχνότητας. Δηλαδή μια γραφική αναπαράσταση του πλάτους του σήματος σαν συνάρτηση της συχνότητας. Ο αναλυτής φάσματος στο πεδίο της συχνότητας είναι ότι και ο παλμογράφος στο πεδίο του χρόνου.

Το παραπάνω σχήμα απεικονίζει ένα σήμα, στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας. Στο πεδίο του χρόνου, όλες οι συχνοτικές συνιστώσες του σήματος αθροίζονται μεταξύ τους και απεικονίζονται. Στο πεδίο της συχνότητας, πολύπλοκα σήματα (σήματα που απαρτίζονται από περισσότερες της μίας συχνότητας) διαχωρίζονται στις φασματικές συνιστώσες τους, και απεικονίζεται το πλάτος της κάθε φασματικής συνιστώσας.

Μετρήσεις στο πεδίο της συχνότητας έχουν διάφορα σαφή πλεονεκτήματα. Εξετάζοντας ένα σήμα στον παλμογράφο όπου εμφανίζεται σαν ένα κανονικό ημιτονοειδές σήμα δεν θα παρατηρήσουμε αρμονική παραμόρφωση. Αν εξετάσουμε το ίδιο σήμα στον φασματικό αναλυτή, θα ανακαλύψουμε ότι το σήμα είναι στην πραγματικότητα άθροισμα διαφορετικών συχνοτήτων, άρα ότι δεν ήταν ευδιάκριτο στον παλμογράφο γίνεται ξεκάθαρο στον φασματικό αναλυτή.

Μερικά συστήματα έχουν κατασκευαστεί με σκοπό να λειτουργούν στο πεδίο της συχνότητας. Για παράδειγμα, διάφορα συστήματα τηλεπικοινωνιών χρησιμοποιούν τεχνικές FDMA (Frequency Division Multiple Access) ή FDM (Frequency Division Multiplexing). Σε αυτά τα συστήματα, όπως για παράδειγμα σε ένα κινητό τηλέφωνο διάφοροι χρήστες χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες για εκπομπή και λήψη. Οι ραδιοφωνικοί σταθμοί επίσης χρησιμοποιούν FDM, με κάθε σταθμό να καταλαμβάνει μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων σε δεδομένη γεωγραφική περιοχή. Αυτού του τύπου τα συστήματα πρέπει να υποστούν ανάλυση στο πεδίο της συχνότητας έτσι ώστε να είναι σίγουρο ότι κανείς δεν παρεμβάλλεται σε γειτονικές συχνότητες. Θα δούμε στην συνέχεια πώς η μέτρηση με ένα αναλυτή φάσματος μπορεί να μειώσει σημαντικά τον συνολικό θόρυβο που παρουσιάζεται στη μέτρηση εξαιτίας της ικανότητας του να περιορίζει το φάσμα του εύρους μέτρησης.

Εξετάζοντας με αυτό τον τρόπο το φάσμα, μετρήσεις συχνότητας, ισχύς, αρμονικού περιεχομένου και θορύβου μπορούν να πραγματοποιηθούν εύκολα. Μετρώντας τις παραπάνω ποσότητες, μπορούμε επίσης να υπολογίσουμε την ολική αρμονική παραμόρφωση, το χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης, την σταθερότητα του σήματος, την ισχύ εξόδου, την παραμόρφωση ενδοδιαμόρφωσης (intermodulation distortion) το power bandwidth, το carrier to-noise ratio, και πολλές άλλες χρήσιμες μετρήσεις, απλώς χρησιμοποιώντας έναν αναλυτή φάσματος.

### 2.3.1 Fourier Analyzer

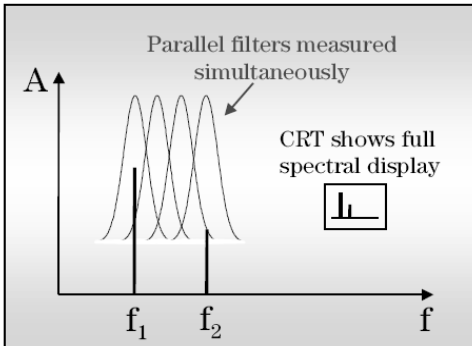
Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την συχνοτική ανάλυση είναι ο Μετασχηματισμός Fourier (Fourier transform) και η τεχνική swept-tuned.

Η πρώτη μέθοδος χρησιμοποιεί ένα σήμα στο πεδίο του χρόνου, το ψηφιοποιεί με δειγματοληψία, εκτελεί τα μαθηματικά που χρειάζονται για να μετατραπεί στο πεδίο της συχνότητας και τέλος απεικονίζει το αποτέλεσμα. Εν ολίγοις, λαμβάνει την πληροφορία στο πεδίο του χρόνου που περιέχει την απαραίτητη συχνοτική πληροφορία. Με την ικανότητα του για ανάλυση σήματος σε πραγματικό χρόνο, ο αναλυτής Fourier μπορεί να συλλαμβάνει περιοδικά καθώς και τυχαία και παροδικά (transient) συμβάντα. Μπορεί ακόμα να παρέχει σημαντική βελτίωση ταχύτητας σε σύγκριση με παραδοσιακούς αναλυτές σάρωσης (swept analyzer) και μπορεί να μετρήσει φάση και πλάτος. Ωστόσο έχει κάποιους περιορισμούς, ιδιαίτερα στο εύρος συχνότητας, στην ευαισθησία και την δυναμική περιοχή. Θα εξετάσουμε αργότερα τι είναι αυτοί οι όροι και την σημαντικότητά τους.

Slide #6

**Overview**  
Different Types of Analyzers

**Fourier Analyzer**



Parallel filters measured simultaneously

CRT shows full spectral display

HEWLETT-PACKARD

Spectrum Analyzer Basics CMB S489.ppt

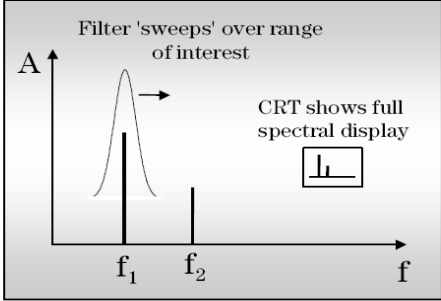
1098  
7

### 2.3.2. Swept Tuned

Slide #7

Overview  
Different Types of Analyzers

**Swept Analyzer**



HEWLETT  
PACKARD

Spectrum Analyzer Basics CMB S488.ppt

1088  
8

Η πιο κοινή μέθοδος ανάλυσης φάσματος είναι η τεχνική Swept-tuned. Οι αναλυτές αυτοί χρησιμοποιούν περισσότερο την τεχνική της super-ετερώδυνης (superheterodyne). Ετερώδυνη είναι η ιδιότητα της επεξεργασίας της συχνότητας και το πρόθεμα super αναφέρεται στις υπερηχητικές (supersonic) συχνότητες, δηλαδή αυτές που βρίσκονται πάνω από το ακουστικό όριο. Στην πράξη, αυτού του είδους οι αναλυτές “σαρώνουν” το φάσμα που μας ενδιαφέρει και εμφανίζουν όλες τις συχνοτικές συνιστώσες που υπάρχουν. Ο αναλυτής φάσματος τύπου Swept-tuned λειτουργεί σαν ένας κοινός δέκτης AM αλλά τη θέση του μεγαφώνου στο ράδιο παίρνει μια οθόνη στον αναλυτή.

Η τεχνική σάρωσης Swept-tuned κάνει μετρήσεις στο πεδίο της συχνότητας πάνω σε μεγάλη δυναμική περιοχή και μεγάλο συχνοτικό εύρος. Αυτό το καθιστά χρήσιμο σε μετρήσεις στο πεδίο της συχνότητας μεγάλης γκάμας εφαρμογών, όπως την κατασκευή και συντήρηση μικροκυματικών ζεύξεων, ραντάρ, εξοπλισμό τηλεπικοινωνιών, καλωδιακής τηλεόρασης, εξοπλισμού εκπομπής (broadcast), κινητών επικοινωνιακών συστημάτων.

Στη συνέχεια με τον όρο αναλυτή φάσματος θα αναφερόμαστε μόνο στον αναλυτή φάσματος σάρωσης (swept tuned analyzer).

### 3. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΝΑΛΥΤΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

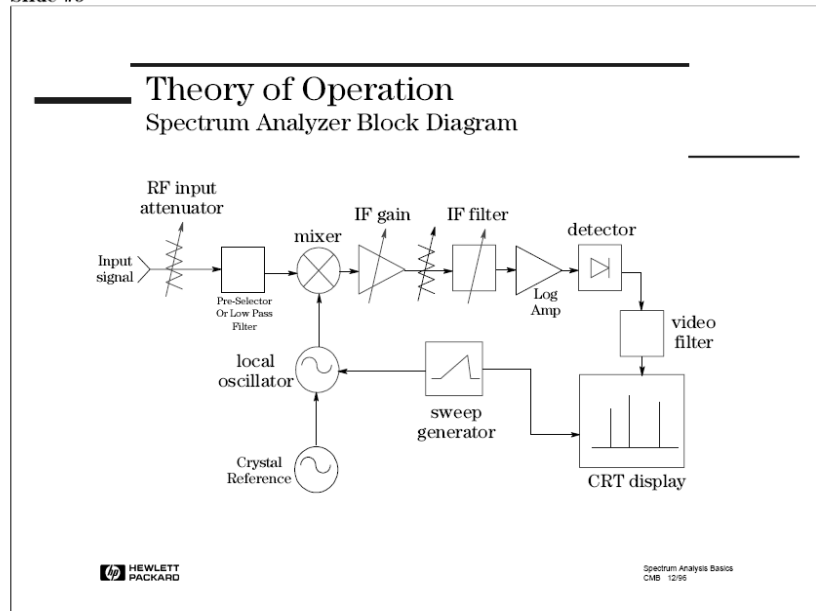
Βασιζόμενοι στην προηγούμενη εικόνα, θα φανταζόμασταν ότι ο αναλυτής αποτελείται από ένα φίλτρο διέλευσης συχνοτήτων (bandpass filter) που σαρώνει μια συγκεκριμένη περιοχή του φάσματος που μας ενδιαφέρει. Έστω ότι το σήμα εισόδου είναι 1MHz, τότε όταν το φίλτρο διέλευσης συχνοτήτων σαρώνει την περιοχή του 1MHz, θα “δει” το σήμα εισόδου και θα το απεικονίσει στην οθόνη.

Αν και θεωρητικά το παραπάνω σενάριο δουλεύει, είναι πολύ δύσκολο και δαπανηρό να κατασκευαστεί ένα φίλτρο που συντονίζεται σε μια ευρεία περιοχή. Μια ευκολότερη, και συνεπώς λιγότερο δαπανηρή υλοποίηση είναι να χρησιμοποιηθεί ένας συντονιζόμενος (tunable) τοπικός ταλαντωτής, και να κρατήσουμε σταθερό το φίλτρο διέλευσης συχνοτήτων. Θα δούμε μπαίνοντας σε περισσότερες λεπτομέρειες ότι σε αυτό το σενάριο “σκανάρουμε” το σήμα εισόδου πρωτίτερα του σταθερού φίλτρου, και όταν περνάει μέσα από το σταθερό φίλτρο διέλευσης συχνοτήτων, αυτό εμφανίζεται στην οθόνη.

Τώρα θα μπούμε σε περισσότερες λεπτομέρειες για το πώς λειτουργεί ο αναλυτής φάσματος σάρωσης (Swept-tuned).

## ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ ΑΝΑΛΥΤΗ

Slide #9

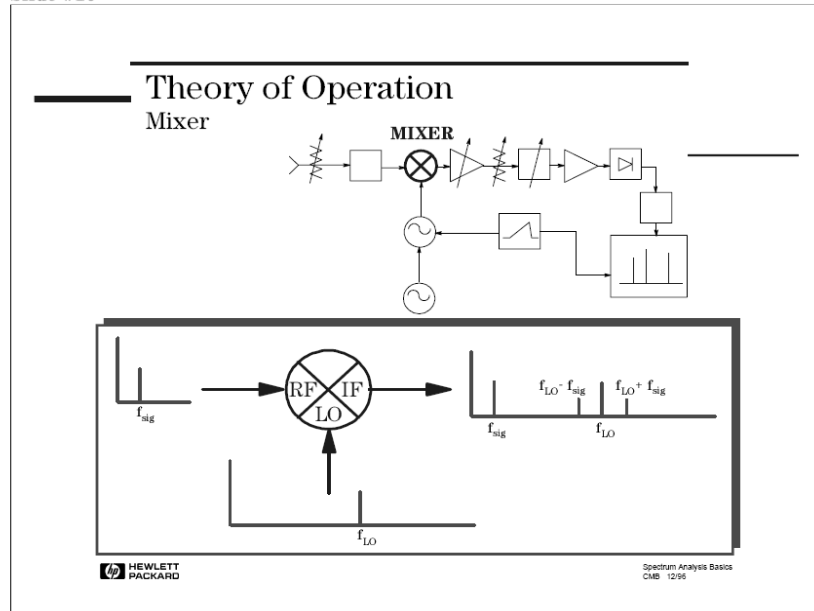


Τα βασικά εξαρτήματα ενός αναλυτή φάσματος είναι ο RF input attenuator, ο μίκτης, η μονάδα IF (Intermediate Frequency) gain, το φίλτρο IF (IF filter), ο ανιχνευτής(detector), το φίλτρο video (video filter), ένας τοπικός ταλαντωτής (local oscillator), η γεννήτρια σάρωσης (sweep generator) και μια οθόνη CRT.



### 3.1 ΜΙΚΤΗΣ

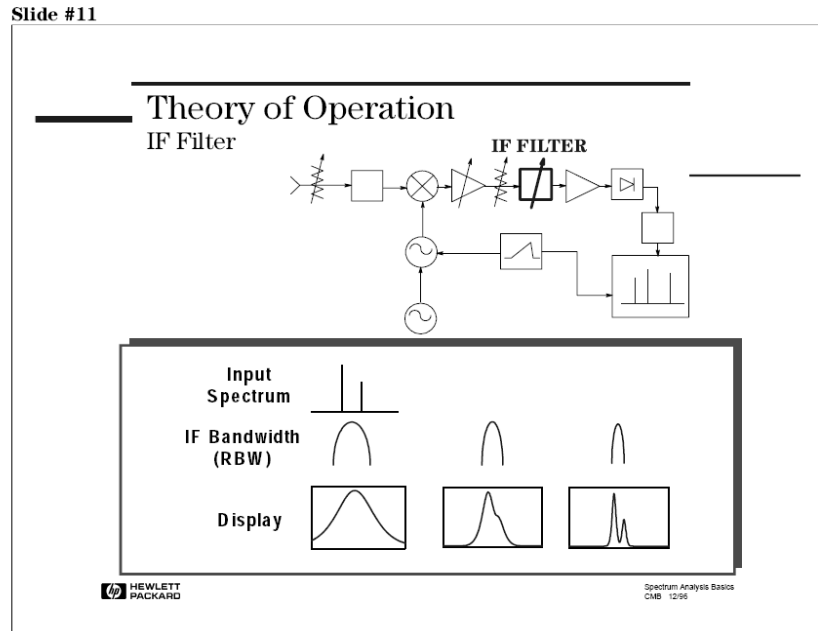
Slide #10



Ο μίκτης είναι μια συσκευή η οποία μετατρέπει ένα σήμα από μια συχνότητα σε μια άλλη. Ένας μίκτης είναι μια μη γραμμική συσκευή (συχνότητες που εμφανίζονται στην έξοδο δεν υπήρχαν και στην είσοδο). Το σήμα του τοπικού ταλαντωτή ( $f_{LO}$ ) εφαρμόζεται σε μία πόρτα του μίκτη και το σήμα που θα υποστεί μετατροπή ( $f_{sig}$ ) εφαρμόζεται στην δεύτερη πόρτα. Η έξοδος του μίκτη αποτελείται από 2 αρχικά σήματα ( $f_{sig}$  και  $f_{LO}$ ) καθώς και το άθροισμα ( $f_{LO} + f_{sig}$ ) και η διαφορά ( $f_{LO} - f_{sig}$ ) συχνοτήτων αυτών των δύο σημάτων.

Σε έναν αναλυτή φάσματος, αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η διαφορά συχνοτήτων. Ο μίκτης έχει μετατρέψει το RF σήμα εισόδου μας σε ένα IF (Intermediate Frequency) σήμα που μπορεί να φιλτραριστεί, ενισχυθεί και ανιχνευτεί από τον αναλυτή για να απεικονιστεί στην οθόνη. Ας δούμε πώς επιτυγχάνεται αυτό εν συντομία.

### 3.2 IF ΦΙΛΤΡΟ

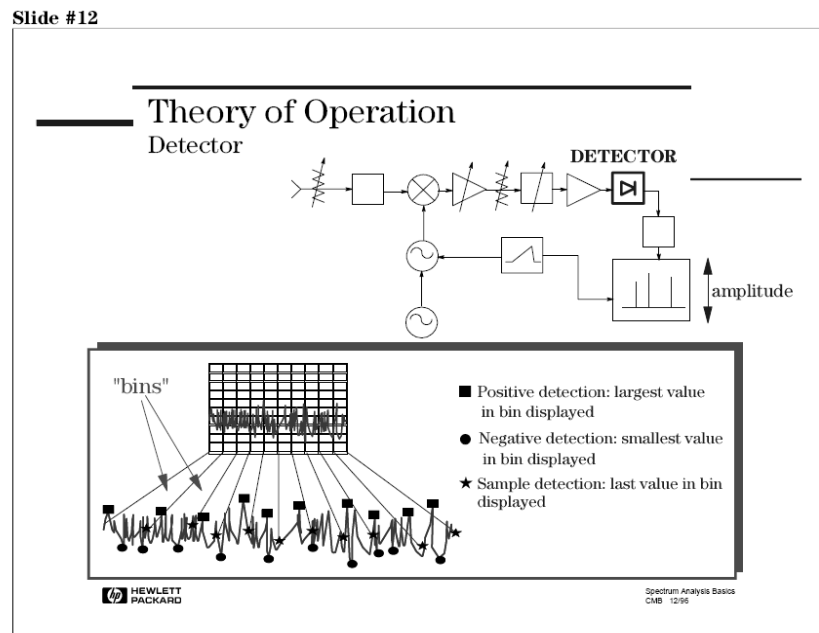


Το IF φίλτρο είναι ένα φίλτρο ζώνης διέλευσης συχνοτήτων που χρησιμοποιείται σαν “παράθυρο” για την ανίχνευση σημάτων. Το εύρος ζώνης του λέγεται και resolution bandwidth (RBW) του αναλυτή και μπορεί να ρυθμιστεί από τον αναλυτή.

Αν ο αναλυτής έχει την δυνατότητα ευρείας αλλαγής στις ρυθμίσεις του resolution bandwidth, το όργανο μπορεί να βελτιστοποιηθεί για τη σάρωση και να προσαρμοστεί εύκολα στις ιδιαιτερότητες κάθε σήματος, με κόστος στην επιλεκτικότητα της συχνότητας (το να μπορούμε να διακρίνουμε 2 κοντινά σήματα σε συχνότητα) στο SNR και την ταχύτητα της μέτρησης.

Παρατηρώντας την παραπάνω εικόνα βλέπουμε ότι όσο το RBW στενεύει, η επιλεκτικότητα βελτιώνεται (μπορούμε να ξεχωρίσουμε δύο διαφορετικά σήματα). Αυτό συχνά βελτιώνει το SNR. Η ταχύτητα σάρωσης και η ταχύτητα ανανέωσης του ίχνους (trace) ωστόσο θα υποβαθμιστούν με “στενότερα” RBWs. Η ιδανική ρύθμιση του RBW εξαρτάται σημαντικά από τα χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου σήματος.

### 3.3 ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ



Ο αναλυτής πρέπει να μετατρέψει το IF σήμα σε ένα baseband ή video σήμα έτσι ώστε να μπορεί να προβληθεί στην οθόνη του οργάνου. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα ανιχνευτή “περιβάλλουσας”(envelope detector) ο οποίος εκτρέπει την δέσμη της CRT οθόνης στον κατακόρυφο άξονα (y), ή στον άξονα πλάτους.

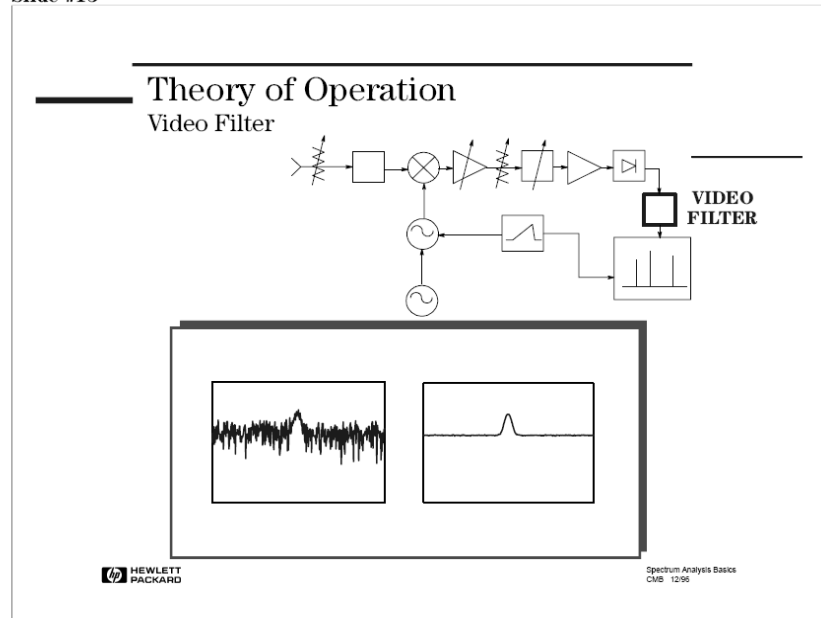
Η λειτουργία ανίχνευσης θετικής κορυφής (positive-peak detector mode) λαμβάνει και απεικονίζει την μέγιστη τιμή του σήματος κατά την διάρκεια ενός ίχνους. Η λειτουργία αυτή είναι καλή για να αναλύει ημιτονοειδή σήματα, αλλά εμφανίζει την τάση να είναι υπερευαίσθητη στον θόρυβο όταν δεν υπάρχουν ημιτονοειδή σήματα στο σήμα. Ομοίως, η λειτουργία ανίχνευσης αρνητικής κορυφής (negative-peak detector mode) λαμβάνει την ελάχιστη τιμή του σήματος.

Στην λειτουργία ανίχνευσης δείγματος (sample detection mode), παράγεται μία τυχαία τιμή για κάθε ίχνος (trace element). Αυτή η λειτουργία είναι η καλύτερη για να υπολογίζεται η ενεργός τιμή (rms) θορύβου ή σημάτων που μοιάζουν με θόρυβο, αλλά μπορεί να “χάσει” τις κορυφές από σήματα-ριπές (burst) και narrowband (στενού εύρους ζώνης) σήματα .

Για την απεικόνιση των σημάτων και θορύβου ταυτόχρονα, χρησιμοποιείται η λειτουργία κανονικής ανίχνευσης (normal detector mode). Σε αυτή την λειτουργία, αν το βίντεο σήμα αυξάνει ή μειώνεται μονοτονικά στην διάρκεια μιας περιόδου ενός ίχνους, τότε συμπεραίνεται ότι το συχνοτικό περιεχόμενο μετριέται και η λειτουργία εύρεσης θετικής κορυφής (positive-peak detector mode) χρησιμοποιείται. Αν το σήμα μεταβάλλεται όχι μονοτονικά κατά την διάρκεια του χρόνου, τότε συμπεραίνεται ότι μετριέται θόρυβος και τα σημεία ίχνους (trace points), εναλλάσσονται μεταξύ λειτουργίας θετικής κορυφής και αρνητικής κορυφής. Όταν απεικονίζεται η ελάχιστη τιμή, η μέγιστη τιμή αποθηκεύεται και συγκρίνεται με την μέγιστη τιμή του επόμενου ίχνους. Το μεγαλύτερο των 2 τιμών απεικονίζεται. Αυτή η τεχνική προσφέρει μια καλύτερη απεικόνιση του τυχαίου θορύβου σε σχέση με την λειτουργία ανίχνευσης κορυφής, αλλά αποφεύγει το πρόβλημα του “χαμένου σήματος” της ανίχνευσης δείγματος.

### 3.4 ΦΙΛΤΡΟ ΒΙΝΤΕΟ

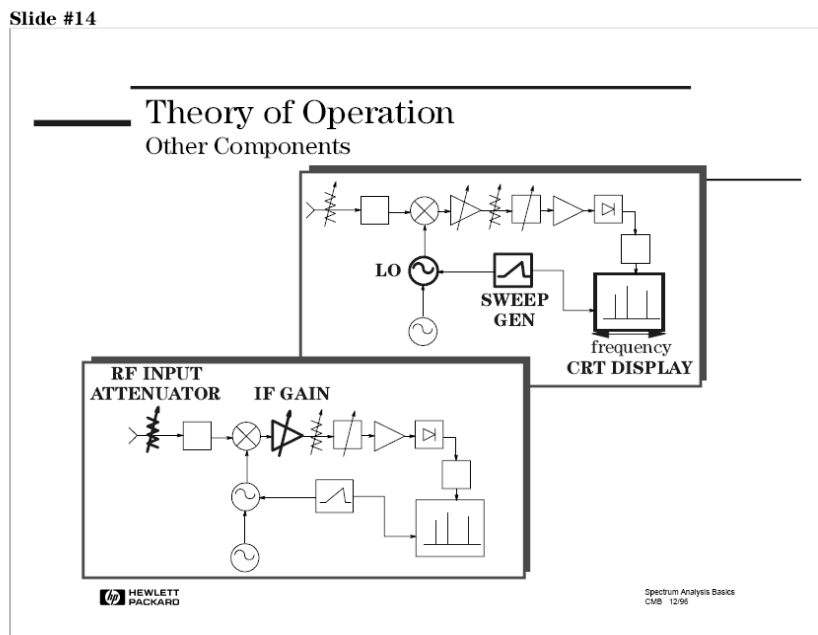
Slide #13



Το φίλτρο βίντεο είναι ένα χαμηλοπερατό φίλτρο που τοποθετείται μετά τον ανιχνευτή περιβάλλουσας (envelope detector) και πριν το ADC. Το φίλτρο καθορίζει το εύρος ζώνης του ενισχυτή βίντεο και χρησιμοποιείται για να κανονικοποιήσει ή για να ομαλοποιήσει το ίχνος που παρουσιάζεται στην οθόνη.

Ο αναλυτής φάσματος απεικονίζει το σήμα και τον θόρυβο επομένως όσο πιο κοντά είναι το σήμα στο επίπεδο του θορύβου, τόσο δυσκολότερο γίνεται να διαβαστεί. Με το να αλλάξουμε το εύρος ζώνης (VBW), μπορούμε να μειώσουμε τις peak-to-peak μεταβολές του θορύβου. Αυτός ο τύπος ομαλοποίησης μπορεί να βοηθήσει στην εύρεση σημάτων αλλιώς θα ήταν μη ευκρινή εξαιτίας του θορύβου.

### 3.5 ΑΛΛΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ



Ακολουθεί, μια σύντομη περιγραφή μερικών άλλων εξαρτημάτων.

Ο τοπικός ταλαντωτής είναι ένας ταλαντωτής ελεγχόμενος από τάση (voltage) και όταν επιδρά έχει σαν επακόλουθο τον συντονισμό του αναλυτή σε δεδομένη συχνότητα. Η γεννήτρια σάρωσης (sweep generator), στην πραγματικότητα συντονίζει το LO έτσι ώστε η συχνότητα του να αλλάζει σε αναλογία με την τάση ράμπας (ramp voltage). Αυτό επιπλέον εκτρέπει την ακτίνα ηλεκτρονίων της οθόνης CRT οριζόντια, από αριστερά στα δεξιά, δημιουργώντας το πεδίο του χρόνου στον Χ-άξονα.

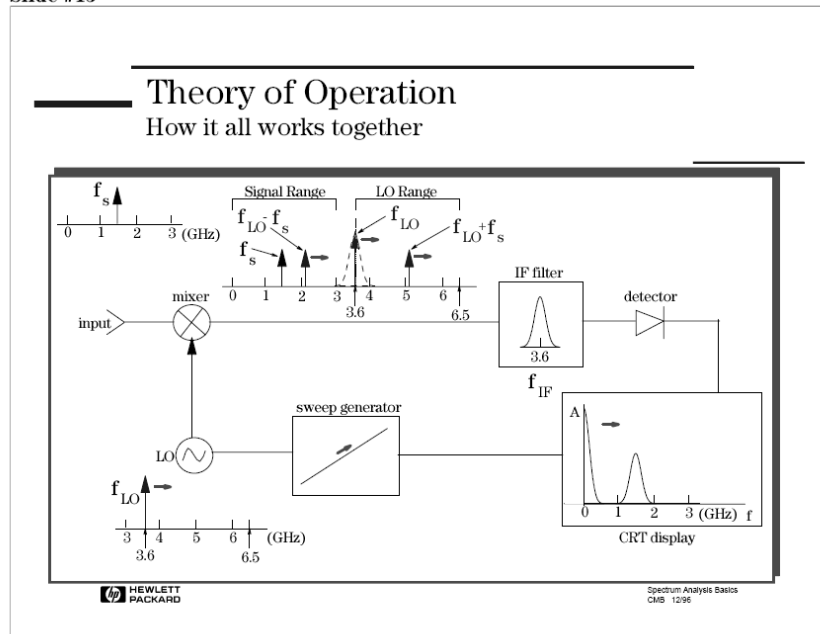
Ο εξασθενητής εισόδου (RF input attenuator) είναι ένας εξασθενητής βήματος τοποθετημένος ανάμεσα στην είσοδο του σήματος και τον πρώτο μίκτη. Χρησιμοποιείται για να ρυθμίζει την ένταση του σήματος που λαμβάνει ο πρώτος μίκτης. Αυτό είναι σημαντικό για να αποτραπεί συμπίεση στο κέρδος (gain) του μίκτη και παραμόρφωση που μπορεί να προκληθεί από σήματα με μεγάλη ένταση.

Η μονάδα IF ενίσχυσης (IF gain) είναι τοποθετημένη μετά τον μίκτη αλλά πριν το IF, ή RBW, φίλτρο. Χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει την κάθετη θέση

σημάτων που απεικονίζονται, χωρίς να επηρεάζει το επίπεδο έντασης του σήματος που φτάνει στον μίκτη εισόδου. Όταν αλλαχτεί, η τιμή του επιπέδου αναφοράς αλλάζει ανάλογα. Εφόσον δεν θέλουμε να αλλάξει το επίπεδο αναφοράς (η κάθετη θέση των απεικονιζόμενων σημάτων) καθώς αλλάζουμε τον εξασθενητή εισόδου, αυτά τα δύο εξαρτήματα 'δένονται' μεταξύ τους. Το IF κέρδος (gain) θα αλλαχτεί αυτόματα ώστε να αντανακλά τις αλλαγές που γίνονται στον εξασθενητή εισόδου, έτσι τα απεικονιζόμενα σήματα παραμένουν στάσιμα στην CRT οθόνη, και το επίπεδο αναφοράς δεν αλλάζει.

### 3.6 ΠΩΣ ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΝΤΑΙ ΤΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ

Slide #15



Ας δούμε πώς όλα αυτά τα εξαρτήματα συνεργάζονται και αποτελούν τον αναλυτή φάσματος.

Αρχικά, το σήμα προς ανάλυση συνδέεται στην είσοδο του αναλυτή φάσματος. Στην συνέχεια το σήμα εισόδου συνδυάζεται με το LO (με την βοήθεια του μίκτη), έτσι ώστε να μετατραπεί σε σήμα σε μια ενδιάμεση συχνότητα (Intermediate Frequency, IF). Αυτά τα σήματα τότε, στέλνονται στο φίλτρο IF. Η έξοδος αυτού του φίλτρου ανιχνεύεται, υποδηλώνοντας την παρουσία ενός συχνοτικού περιεχόμενου στην δεδομένη συχνότητα συντονισμού του αναλυτή. Η τάση εξόδου του ανιχνευτή χρησιμοποιείται ώστε να “οδηγήσει” τον κάθετο άξονα (πλάτος) της οθόνης του αναλυτή. Η γεννήτρια σάρωσης (sweep generator) παρέχει συγχρονισμό μεταξύ του οριζόντιου άξονα της οθόνης (συχνότητα) και του συντονισμού του LO. Το αποτέλεσμα στην οθόνη είναι ή απεικόνιση του πλάτους (amplitude) σε σύγκριση με τις φασματικές συνιστώσες του κάθε εισερχόμενου σήματος. Ας χρησιμοποιήσουμε το παραπάνω σχήμα για να καταλάβουμε τι εννοούμε.

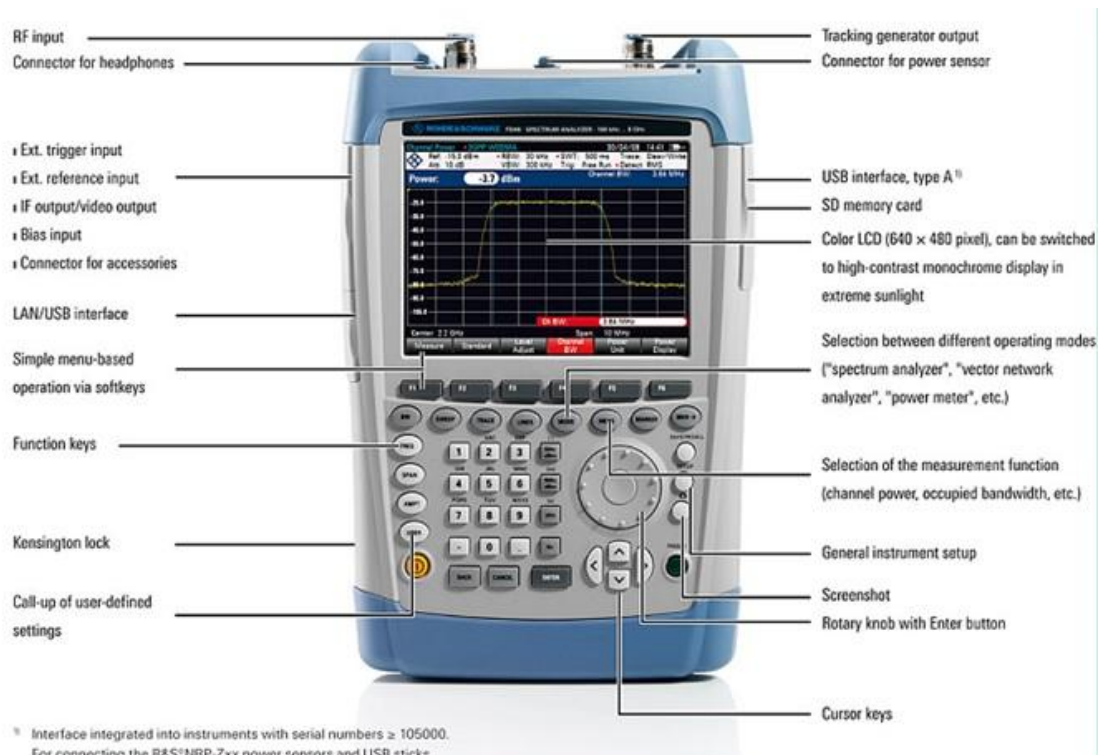
Τα οριζόντια βέλη, δείχνουν την “σάρωση” (sweeping) του αναλυτή. Ξεκινώντας με το LO στα 3.6GHz, ή έξοδος του μίκτη αποτελείται από 4 σήματα, ένα



εκ των οποίων είναι στα 3.6GHz (fLO). Παρατηρήστε ότι το IF φίλτρο μας είναι και αυτό στα 3.6Ghz. Συνεπώς περιμένουμε να δούμε το σήμα στην οθόνη του αναλυτή. Στα 0 Hz στην οθόνη, πράγματι βλέπουμε ένα σήμα (λέγεται “LO feedthrough”). Τώρα ας φανταστούμε την γεννήτρια σάρωσης να “κινείται” δεξιά, κάνοντας το LO να σαρώσει- “προχωρήσει” ανοδικά σε συχνότητα. Κατά την διάρκεια που το LO σαρώνει ανοδικά, το ίδιο ακριβώς κάνουν και τρία από τα σήματα εξόδου του μίκτη (το σήμα εισόδου είναι αμετάβλητο-στάσιμο). Καθώς το LO “κινείται” εκτός του εύρους του φίλτρου IF, το βλέπουμε να μειώνεται βαθμιαία στην οθόνη. Εφόσον η διαφορά (fLO -fs) έρθει μέσα στην επιρροή του IF φίλτρου, αρχίζουμε να το βλέπουμε. Όταν είναι στο κέντρο (3.6GHz) βλέπουμε το πλήρες πλάτος του σήματος στην οθόνη. Και, όπως κινείται δεξιότερα, και φεύγει από την επιρροή του IF φίλτρου, αρχίζει και μειώνεται βαθμιαία ώσπου το σήμα χάνετε από την οθόνη.

Μόλις είδαμε το σήμα μας να σαρώνεται μέσα από το σταθερό IF φίλτρο, και να απεικονίζεται στην οθόνη του αναλυτή φάσματος. Έτσι λειτουργεί ο αναλυτής φάσματος!

### 3.7 ΠΛΗΚΤΡΑ ΣΤΟ ΕΜΠΡΟΣ ΜΕΡΟΣ



Τα τρία βασικά πλήκτρα λειτουργιών ενός αναλυτή φάσματος είναι: συχνότητα, πλάτος και διάστημα (Frequency, amplitude, span). Προφανώς, πρέπει να είμαστε σε θέση να ρυθμίσουμε κατάλληλα τον αναλυτή για συγκεκριμένες συνθήκες μέτρησης. Η συχνότητα και το πλάτος είναι ευνόητα. Το span είναι ένας απλός τρόπος να πούμε στον αναλυτή πόσο μεγάλο διάστημα σε συχνότητα θέλουμε να εξετάσουμε.

Άλλες σημαντικές λειτουργίες είναι η ρύθμιση των resolution bandwidth, sweep time, input attenuator και video bandwidth.

## 4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

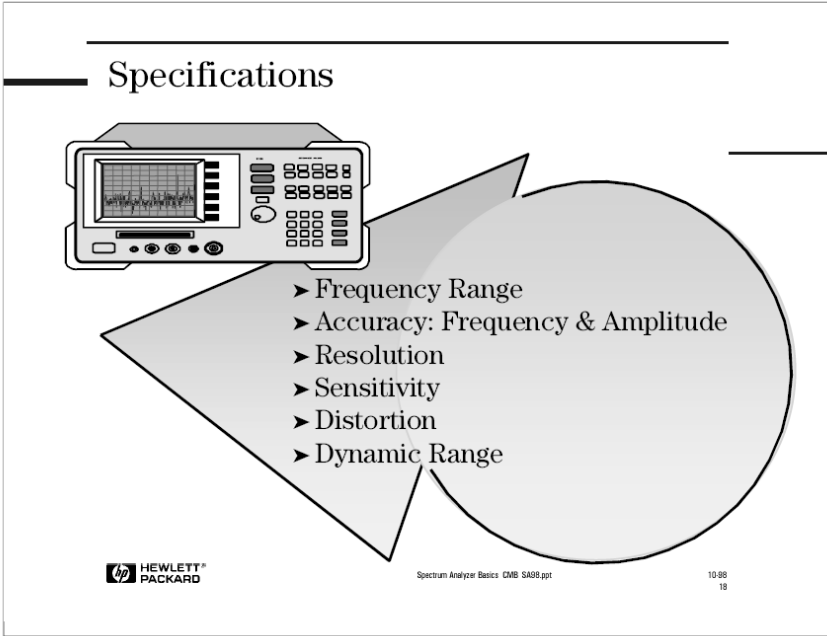
Το να κατανοήσουμε τις δυνατότητες και τους περιορισμούς ενός αναλυτή φάσματος είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στην κατανόηση της συνολικής φασματικής ανάλυσης. Οι σημερινοί αναλυτές φάσματος προσφέρουν μεγάλη ποικιλία δυνατοτήτων και επιπέδων απόδοσης. Μέσα από αυτό το “χάος”, πώς μπορούμε να ξέρουμε ποιες προδιαγραφές είναι σημαντικές για μια συγκεκριμένη εφαρμογή και γιατί;

Οι προδιαγραφές ενός αναλυτή φάσματος είναι ο τρόπος του κατασκευαστή του οργάνου να ορίσει κάποια Standards απόδοσης για το τι μπορούμε να περιμένουμε από μια συγκεκριμένη μέτρηση. Με το να κατανοούμε και να ερμηνεύουμε αυτές τις προδιαγραφές μπορούμε να προβλέπουμε πώς ο αναλυτής θα ανταποκριθεί κατάλληλα σε μια μέτρηση.

Στην συνέχεια θα περιγράψουμε διαφορετικές προδιαγραφές που είναι σημαντικό να καταλάβουμε.

Slide #18

### Specifications



- Frequency Range
- Accuracy: Frequency & Amplitude
- Resolution
- Sensitivity
- Distortion
- Dynamic Range

HEWLETT  
PACKARD

Spectrum Analyzer Basics DMB SA98.ppt

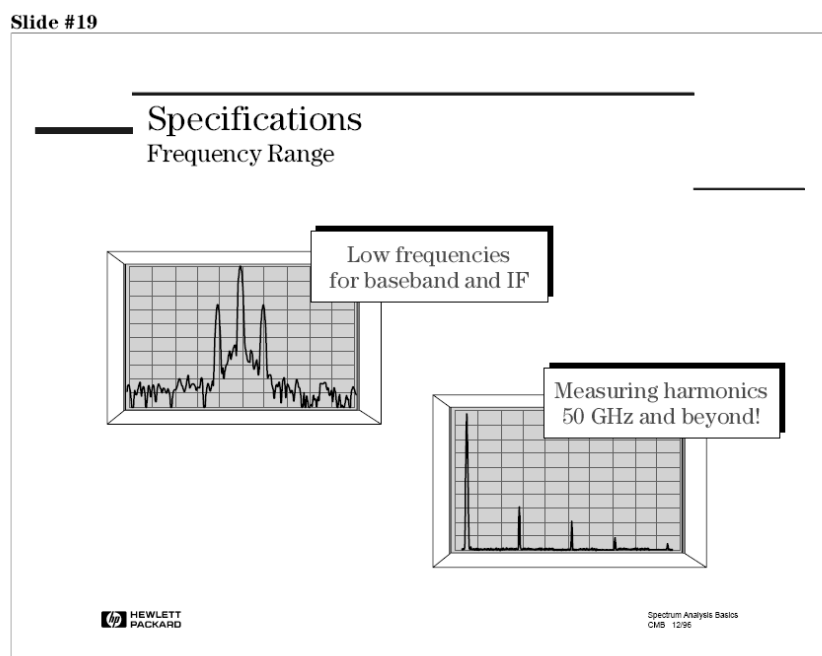
10-98  
18

Για να είμαστε σίγουροι ότι ο αναλυτής φάσματος θα πραγματοποιήσει σωστά τις μετρήσεις μας πρέπει να ξέρουμε:

- 1) Το συχνοτικό εύρος (frequency range)

- 2) Το εύρος του πλάτους (amplitude range, maximum input and sensitivity)
- 3) Μέχρι ποιο επίπεδο μπορούμε να μετρήσουμε την διαφορά ανάμεσα σε δύο σήματα, σε πλάτος (dynamic range) και συχνότητα (resolution)
- 4) Πόσο ακριβείς είναι οι μετρήσεις μας (accuracy)

#### 4.1. ΣΥΧΝΟΤΙΚΟ ΕΥΡΟΣ



Φυσικά, η πρώτη και πιο σημαντική προδιαγραφή που πρέπει να ξέρουμε είναι το συχνοτικό εύρος του αναλυτή. Δεν χρειάζεται μόνο ο αναλυτής φάσματος να καλύπτει τις βασικές συχνότητες της εφαρμογής που θα τον χρησιμοποιήσουμε, αλλά δεν πρέπει να ξεχνάμε και τις αρμονικές ή τα “πλασματικά” σήματα στις υψηλές ή μεσαίες συχνότητες και την IF στις χαμηλές συχνότητες.

Ένα παράδειγμα ανάγκης υψηλότερου συχνοτικού εύρους είναι οι ασύρματες τηλεπικοινωνίες. Μερικά Standards κινητής τηλεφωνίας απαιτούν μετρήσεις μέχρι και 10αρμονικών. Αν δουλεύουμε στα 900MHz, αυτό σημαίνει ότι χρειαζόμαστε αναλυτή με άνω όριο συχνότητας τα  $10 \times 900\text{MHz} = 9\text{GHz}$ . Επιπλέον,

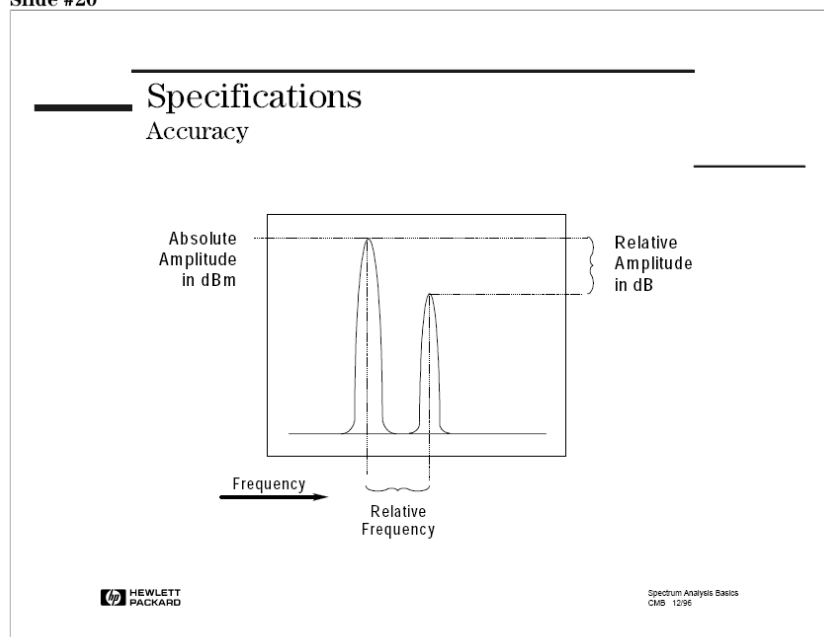
παρόλο που μιλάμε για αναλυτές τύπου RF, πρέπει να έχουμε και δυνατότητα μέτρησης της χαμηλής μπάντας και σημάτων IF.

Η ακρίβεια είναι ή δεύτερη προδιαγραφή που θα σταθούμε. Πόσο ακριβή θα είναι τα αποτελέσματα μας σε συχνότητα και πλάτος; Όταν μιλάμε για προδιαγραφές ακρίβειας, είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι υπάρχει η προδιαγραφή απόλυτης ακρίβειας και η προδιαγραφή σχετικής ακρίβειας.

Μια απόλυτη μέτρηση πραγματοποιείται με μοναδικό κέρσορα (marker). Π.χ. η συχνότητα και το επίπεδο ισχύς (power level) ενός φορέα για μετρήσεις παραμόρφωσης, είναι μια απόλυτη μέτρηση.

Μια σχετική μέτρηση πραγματοποιείται με σχετικό, ή δέλτα κέρσορα (marker). Μερικά παραδείγματα είναι, modulation frequencies, channel spacing, pulse repetition frequencies και offset frequencies σχετικές με τον φορέα. Οι σχετικές μετρήσεις είναι ακριβέστερες σε σχέση με τις απόλυτες μετρήσεις.

Slide #20



### 4.3. ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Slide #21

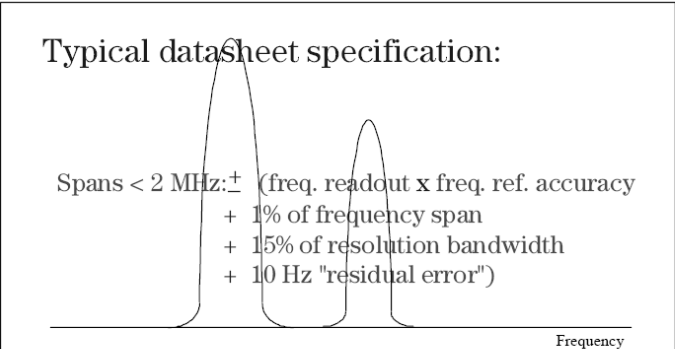
---

## Specifications

Accuracy: Frequency Readout Accuracy

---

Typical datasheet specification:



Spans < 2 MHz: ± (freq. readout x freq. ref. accuracy  
+ 1% of frequency span  
+ 15% of resolution bandwidth  
+ 10 Hz "residual error")

HEWLETT  
PACKARD

Spectrum Analysis Basics CMB SA88.ppt

1088  
21

Η ακρίβεια συχνότητας, είναι συνήθως ορισμένη σαν το άθροισμα πολλών διαφορετικών ειδών σφαλμάτων, όπως frequency-reference inaccuracy, span error και RBW center-frequency error.

Η ακρίβεια Frequency-reference καθορίζεται από την βασική αρχιτεκτονική του αναλυτή. Η ποιότητα του εσωτερικού ρολογιού είναι ακόμη ένας παράγοντας, όμως πολλοί αναλυτές φάσματος χρησιμοποιούν ταλαντωτές υψηλής ποιότητας-απόδοσης.

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες στον σχεδιασμό ενός σύγχρονου-μοντέρνου αναλυτή φάσματος: οι synthesized και free-running. Σε έναν synthesized αναλυτή, μερικοί ή όλοι οι ταλαντωτές είναι συντονισμένοι σε ένα μοναδικό, ανιχνεύσιμο, ταλαντωτή αναφοράς. Αυτού του είδους οι αναλυτές έχουν μια ακρίβεια της τάξεως των μερικών εκατοντάδων hertz. Αυτός ο σχεδιασμός προσφέρει μέγιστη απόδοση αναλογικά με την πολυπλοκότητα και το κόστος κατασκευής. Αναλυτές φάσματος αρχιτεκτονικής free-running χρησιμοποιούν απλούστερη σχεδίαση και προσφέρουν μέτρια ακρίβεια συχνότητας σε προσιτή τιμή. Οι free-running αναλυτές προσφέρουν ακρίβεια μερικών megahertz. Αυτό δεν

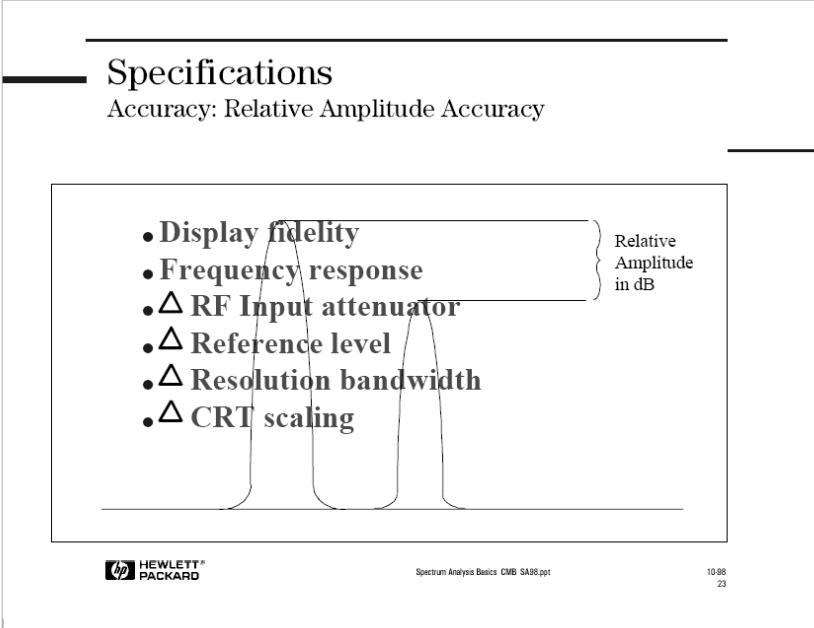
είναι σημαντικό μειονέκτημα σε πολλές περιπτώσεις. Για παράδειγμα, πολλές φορές μετράμε ένα μεμονωμένο-απομονωμένο σήμα, η απλώς χρειαζόμαστε αρκετή ακρίβεια ίσα ίσα για να αναγνωρίσουμε το σήμα ενδιαφέροντος μας ανάμεσα σε άλλα σήματα.

Τα σφάλματα Span-error χωρίζονται σε δυο κατηγορίες βασιζόμενοι στο γεγονός ότι πολλοί αναλυτές φάσματος είναι fully synthesized για μικρά spans, αλλά είναι ανοιχτού-βρόχου (open-loop) για μεγαλύτερα spans.

Τα RBW σφάλματα μπορεί να είναι αξιοσημείωτα-ευμεγέθη σε μερικούς αναλυτές φάσματος, ειδικά για μεγάλες τιμές του RBW, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις είναι πολύ μικρότερα από τα σφάλματα Span error.



Slide #23



**Specifications**  
Accuracy: Relative Amplitude Accuracy

- Display fidelity
- Frequency response
- Δ RF Input attenuator
- Δ Reference level
- Δ Resolution bandwidth
- Δ CRT scaling

Relative Amplitude in dB

HEWLETT  
PACKARD

Spectrum Analysis Basics CMB 5A18.ppt

10-88  
23

Τώρα θα εξετάσουμε την ακρίβεια πλάτους.

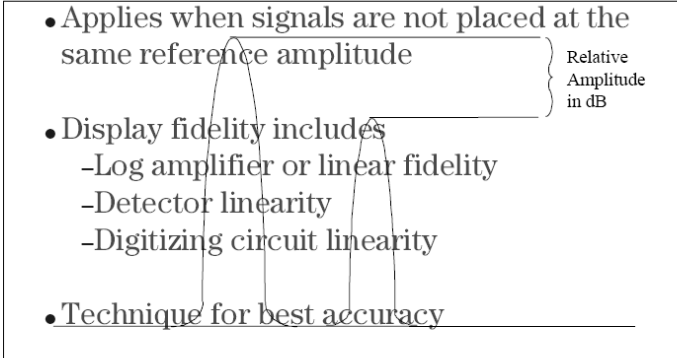
Οι περισσότεροι αναλυτές φάσματος ορίζονται με όρους απόλυτης και σχετικής ακρίβειας πλάτους. Μια και η σχετική απόδοση του αναλυτή επηρεάζει και τους δύο τύπους ακρίβειας, θα μιλήσουμε πρώτα για αυτήν.

Όταν κάνουμε σχετικές μετρήσεις σε ένα εισερχόμενο σήμα, χρησιμοποιούμε ένα μέρος του σήματος σαν αναφορά. Για παράδειγμα κάνοντας μετρήσεις παραμόρφωσης δεύτερης αρμονικής, χρησιμοποιούμε το βασικό-θεμελιώδες σήμα σαν αναφορά. Απόλυτες τιμές δεν μας ενδιαφέρουν, μας ενδιαφέρει μόνο το πόσο διαφέρει η δεύτερη αρμονική σε σχέση με το θεμελιώδες σήμα.

Η σχετική ακρίβεια πλάτους εξαρτάται από: ποιότητα απεικόνισης (Display fidelity) και την απόκριση συχνότητας (Frequency response) όπου και επηρεάζουν

άμεσα την ακρίβεια πλάτους. Τα άλλα τέσσερα πρόκειται για διαδικασίες που γίνονται κατά την διάρκεια μιας μέτρησης και έτσι επηρεάζουν αρνητικά μόνο όταν αλλάζουν.

Slide #24



**Specifications**  
Accuracy: Relative Amplitude Accuracy - Display Fidelity

- Applies when signals are not placed at the same reference amplitude
- Display fidelity includes
  - Log amplifier or linear fidelity
  - Detector linearity
  - Digitizing circuit linearity
- Technique for best accuracy

HEWLETT  
PACKARD

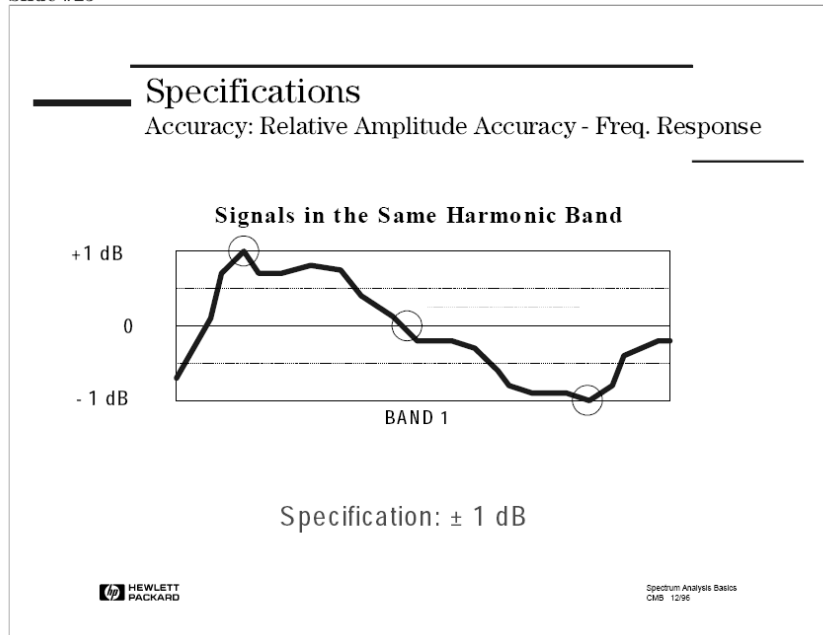
Spectrum Analysis Basics CMB 5A88.ppt

10-88  
24

Η ποιότητα απεικόνισης (Display fidelity) επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Μέσα σε αυτούς είναι ο λογαριθμικός ενισχυτής (log amplifier), ο ανιχνευτής και τα κυκλώματα ψηφιοποίησης. Η οθόνη CRT από μόνη της δεν είναι παράγοντας για τους αναλυτές που χρησιμοποιούν τεχνικές ψηφιοποίησης και προσφέρουν ψηφιακά σημάδια (markers), γιατί η πληροφορία της θέσης ενός σημαδιού (marker) παίρνεται από την μνήμη trace, και όχι από την οθόνη CRT. Η ποιότητα απεικόνισης είναι καλύτερη σε μικρές διαφορές πλάτους και ζώνες από μερικά δέκατα του dB για κοντινά πλάτη σημάτων μέχρι και 2dB για μεγάλες αποστάσεις πλατών.

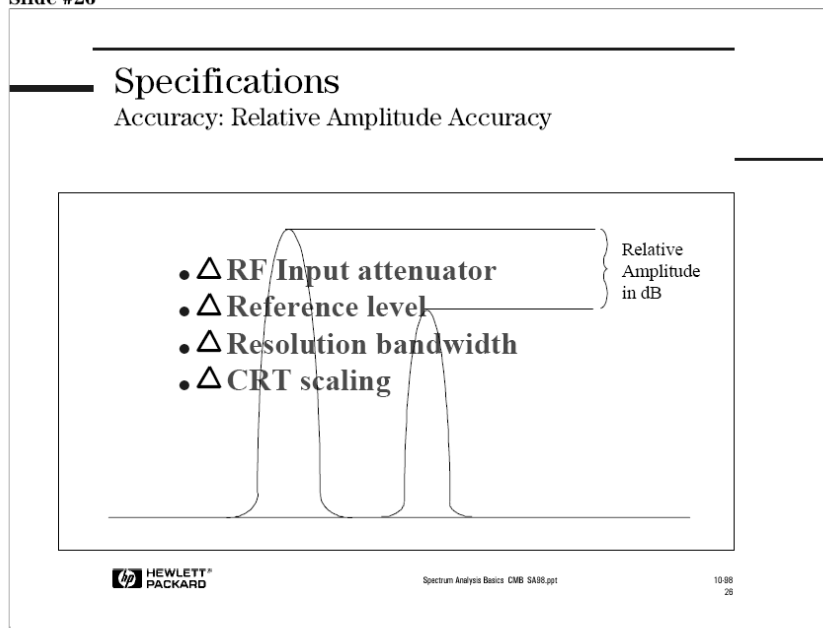
Μια τεχνική για την βελτίωση της ακρίβειας του πλάτους είναι να ορίσουμε το πρώτο σήμα σαν σήμα αναφοράς χρησιμοποιώντας λειτουργίες του αναλυτή και να χρησιμοποιήσουμε σημάδια (markers) για να διαβάσουμε την τιμή του πλάτους. Στην συνέχεια μετακινούμε το δεύτερο σήμα στο ίδιο σημείο αναφοράς και υπολογίζουμε την διαφορά.

Slide #25



Η απόκριση συχνότητας, ή η “ομαλότητα” του αναλυτή φάσματος, επίσης παίζει ρόλο σε σχετικές αβεβαιότητες πλάτους και είναι εξαρτώμενη από το πεδίο συχνότητας. Ένας αναλυτής φάσματος RF χαμηλής απόκρισης (χαμηλών συχνοτήτων), μπορεί να έχει απόκριση συχνότητας  $\pm 0.5$  dB. Από την άλλη μεριά, ένας μικροκυματικός αναλυτής φάσματος (απόκρισης-υψηλών συχνοτήτων), με συντονισμό στα 20GHz μπορεί να έχει απόκριση συχνότητας  $\pm 4$  dB!

Slide #26



Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, οι 4 προδιαγραφές παραπάνω επηρεάζουν αρνητικά την ακρίβεια μιας μέτρησης όταν αλλάζονται κατά την διάρκεια μιας μέτρησης, και μπορούν να εξαλειφθούν αν μείνουν απείραχτες.

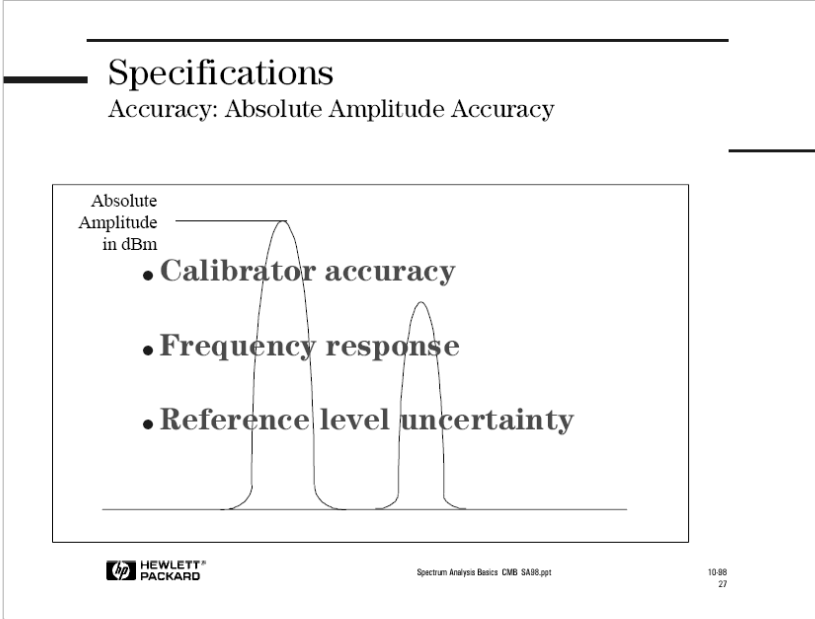
Επειδή ένας εξασθενητής εισόδου RF (RF Input attenuator) πρέπει να επιδρά σε όλο το συχνοτικό εύρος του αναλυτή, η ακρίβεια βήματος του είναι συνάρτηση της συχνότητας. Σε χαμηλές RF συχνότητες, περιμένουμε τον εξασθενητή να ανταποκρίνεται πολύ καλά, στα 20GHz όχι τόσο καλά.

Το IF gain (ή reference level control) έχει αβεβαιότητες επίσης, αλλά είναι πιο ακριβές σε σχέση με τον εξασθενητή εισόδου (RF Input attenuator) επειδή επιδρά σε μια μόνο συχνότητα.

Μιας και διαφορετικά φίλτρα έχουν διαφορετικές απώλειες εισόδου, με τον να αλλάζουμε το RBW (Resolution Bandwidth) μπορούμε να επηρεάσουμε αρνητικά την ακρίβεια.

Τέλος, αλλάζοντας την ανάλυση της οθόνης π.χ από 10dB/div σε 1 dB/div ή σε γραμμικό, μπορεί να εισάγει αβεβαιότητα στην μέτρηση πλάτους.

Slide #27



**Specifications**  
Accuracy: Absolute Amplitude Accuracy

Absolute Amplitude in dBm

- **Calibrator accuracy**
- **Frequency response**
- **Reference level uncertainty**

HEWLETT  
PACKARD

Spectrum Analysis Basics CMB SA98.ppt

1088  
27

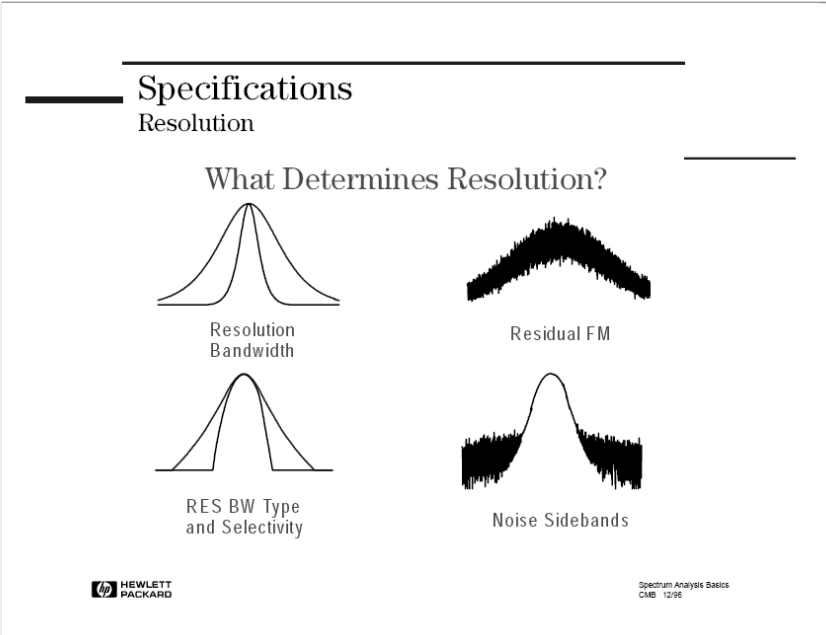
Οι απόλυτες μετρήσεις πλάτους είναι ουσιαστικά μετρήσεις σχετικές σε ένα εσωτερικά παραγόμενο σήμα γνωστού πλάτους και συχνότητας (σήμα βαθμονόμησης - calibrator). Οι περισσότεροι αναλυτές φάσματος έχουν ένα τέτοιο σήμα (calibrator). Μιας και το σήμα calibrator λειτουργεί σε μια συχνότητα, στηριζόμαστε στην σχετική ακρίβεια του αναλυτή για να επεκτείνουμε το σήμα calibrator σε άλλες συχνότητες και πλάτη. Μια συνηθισμένη μέτρηση με σήμα calibrator έχει μια αβεβαιότητα της τάξεως των  $\pm 0.3$  dB.

#### 4.7. ΑΝΑΛΥΣΗ (RESOLUTION)

Μια βασική προδιαγραφή όταν θέλουμε να μετρήσουμε σήματα κοντινά μεταξύ τους είναι η *ανάλυση (resolution)*, η οποία μας επιτρέπει να μπορούμε να τα ξεχωρίζουμε το ένα από το άλλο με επιτυχία. Είδαμε ότι το εύρος ζώνης του IF φίλτρου λέγεται και RBW (resolution bandwidth). Αυτό γιατί το εύρος του IF φίλτρου και το σχήμα του είναι αυτό που καθορίζει το πόσο ευδιάκριτα θα είναι τα σήματα.

Επίσης το εύρος του φίλτρου, η επιλεκτικότητα (selectivity), ο τύπος του φίλτρου, η τυπική απόκλιση FM και ο θόρυβος της πλευρικής μπάντας (sideband noise) είναι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάλυση του σήματος και θα τους εξετάσουμε στην συνέχεια.

Slide #28



Specifications  
Resolution

What Determines Resolution?

Resolution Bandwidth

Residual FM

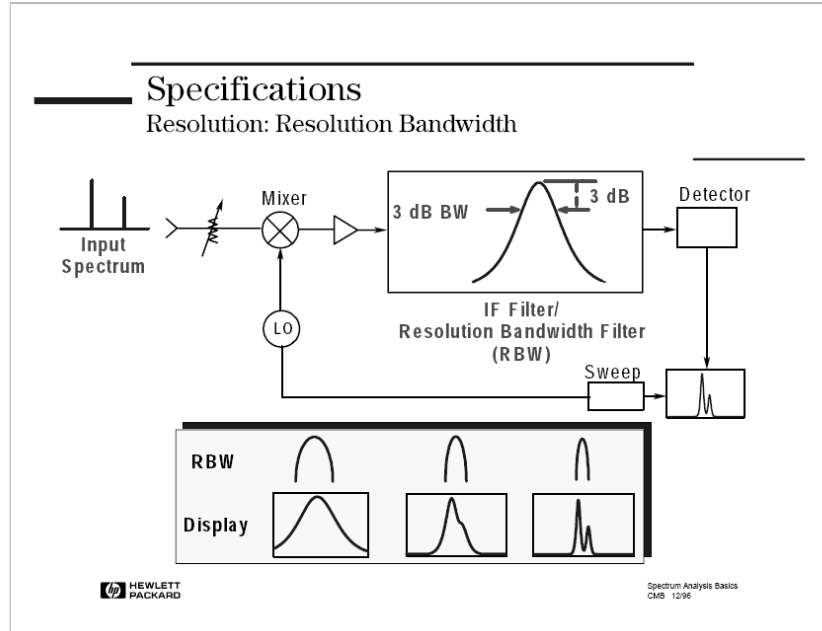
RES BW Type and Selectivity

Noise Sidebands

HEWLETT  
PACKARD

Spectrum Analysis Basics  
CMB 12/96

Slide #29

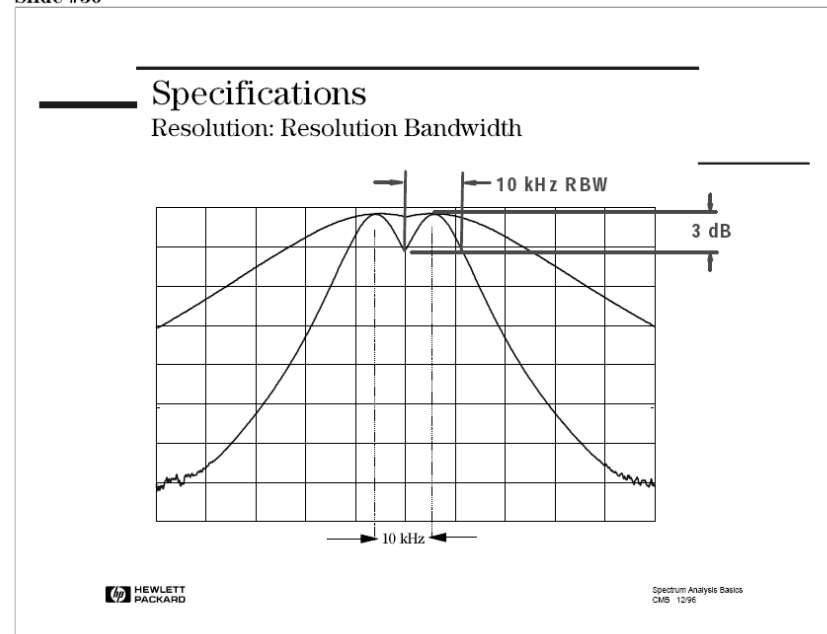


Μια από τις πρώτες παρατηρήσεις που κάνουμε βλέποντας ένα σήμα στην οθόνη του παλμογράφου είναι ότι δεν μπορεί να απεικονιστεί σαν μια λεπτή γραμμή άπειρου μήκους. Έχει κάποιο φάρδος στην οθόνη. Αυτό το φαινόμενο προέρχεται από το “σκανάρισμα”(tracing) του αναλυτή του IF φίλτρου του, κατά την διάρκεια συντονισμού με ένα σήμα. Έτσι αν αλλάξουμε το εύρος ζώνης του φίλτρου, αλλάζει και το φάρδος της απεικονιζόμενης απόκρισης. Οι προδιαγραφές ενός αναλυτή Hewlett Packard ορίζουν 3dB εύρος ζώνης. Μερικοί άλλοι κατασκευαστές ορίζουν 6dB εύρος ζώνης.

Αυτό το σενάριο ενισχύει την ιδέα ότι το εύρος και σχήμα του IF φίλτρου είναι αυτό που καθορίζει το πόσο ευδιάκριτα θα είναι δύο (2) κοντινά σήματα μεταξύ τους.



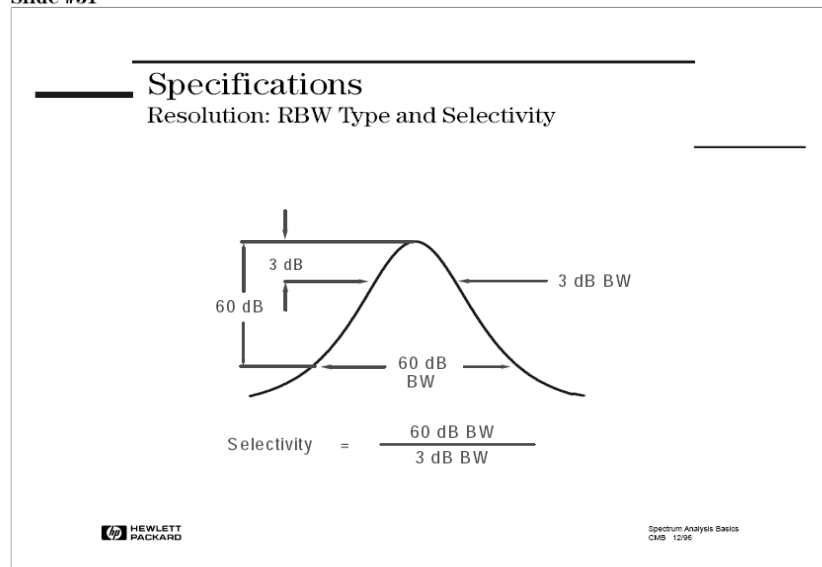
Slide #30



Όταν μετράμε δύο σήματα ίσου πλάτους (amplitude), η τιμή του επιλεγμένου RBW (resolution bandwidth) μας πληροφορεί για το πόσο κοντά μπορεί να είναι μεταξύ τους τα σήματα και να μπορούν να ξεχωρίζουν το ένα από το άλλο. Για παράδειγμα, αν δύο σήματα διαφέρουν μεταξύ τους για 10kHz, 10kHz RBW μπορεί εύκολα να διαχωρίσει τις αποκρίσεις. Παρ' όλα αυτά, με πλατύτερο RBW, τα δύο σήματα μπορεί να εμφανιστούν σαν ένα.

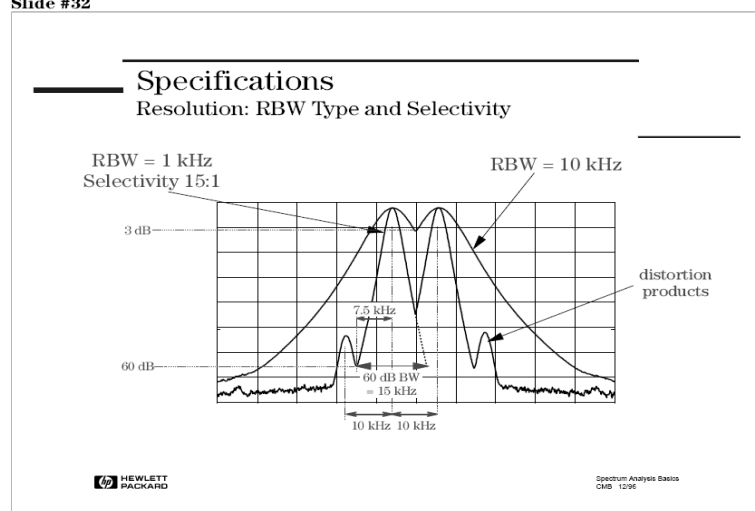
Γενικά, δύο σήματα ίσου πλάτους, μπορούν να αναλυθούν αν η απόστασή τους είναι μεγαλύτερη ή ίση με το 3dB εύρος ζώνης του επιλεγμένου RBW φίλτρου (resolution bandwidth filter).

Slide #31



Η επιλεκτικότητα (selectivity) είναι το σημαντικό χαρακτηριστικό για να διαχωρίζουμε σήματα διαφορετικού πλάτους. Τυπικές τιμές επιλεκτικότητας ξεκινούν από 11:1 και φτάνουν μέχρι 15:1 για αναλογικά φίλτρα, και 5:1 για ψηφιακά φίλτρα. Συνήθως εξετάζουμε σήματα διαφορετικού πλάτους.

Slide #32

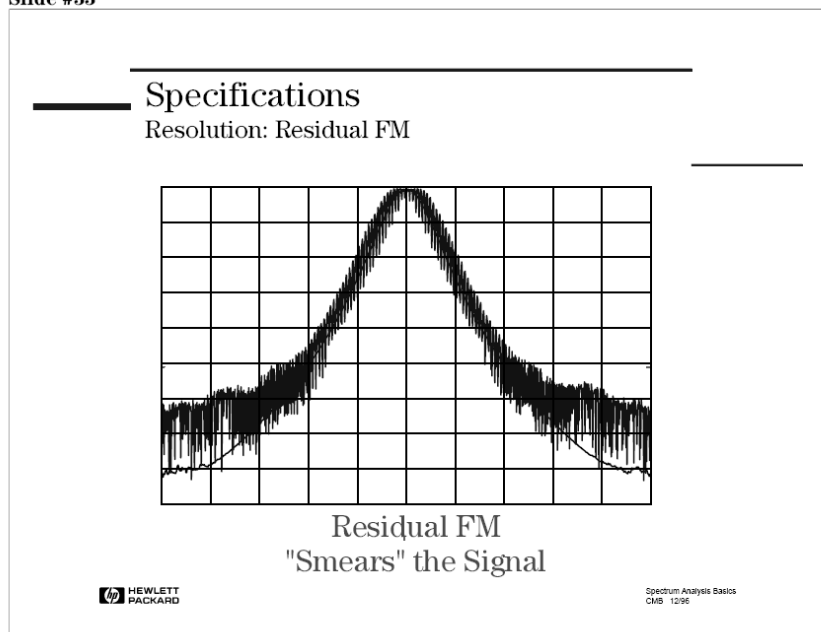


Για παράδειγμα, έστω ότι κάνουμε ένα τεστ δύο διαφορετικών τόνων (two-tone) όπου τα σήματα διαχωρίζονται κατά 10kHz. Με ένα RBW των 10kHz, το ξεκαθάρισμα των δύο τόνων ίσου πλάτους δεν είναι πρόβλημα όπως είδαμε. Αλλά οι παραμορφώσεις, που μπορεί να είναι 50 dB κάτω και 10kHz μακρύτερα, δεν θα φαίνονται.

Ας δοκιμάσουμε ένα RBW των 3 kHz το οποίο έχει επιλεκτικότητα 15:1. Το πλάτος του φίλτρου 60dB χαμηλότερα είναι 45kHz (15 x 3kHz), έτσι οι παραμορφώσεις χάνονται κάτω από την απόκριση του τεστ τόνου. Αν προσπαθήσουμε με στενότερο φίλτρο (πχ 1kHz φίλτρο) τα 60dB εύρος είναι 15kHz (15 x 1kHz) και οι παραμορφώσεις είναι εύκολα ορατές. Έτσι το απαιτούμενο RBW για την μέτρηση πρέπει να είναι μικρότερο από 1 kHz.

Αυτό μας λέει, ότι δύο σήματα όχι ίσα σε πλάτος κατά 60dB πρέπει να χωριστούν μέχρι τουλάχιστον το μισό του εύρους των 60dB για να διακρίνουμε το μικρότερο σήμα. Έτσι, η επιλεκτικότητα (selectivity) είναι το κλειδί για να καθορίζουμε την ανάλυση (resolution) άνισων σε πλάτος σημάτων.

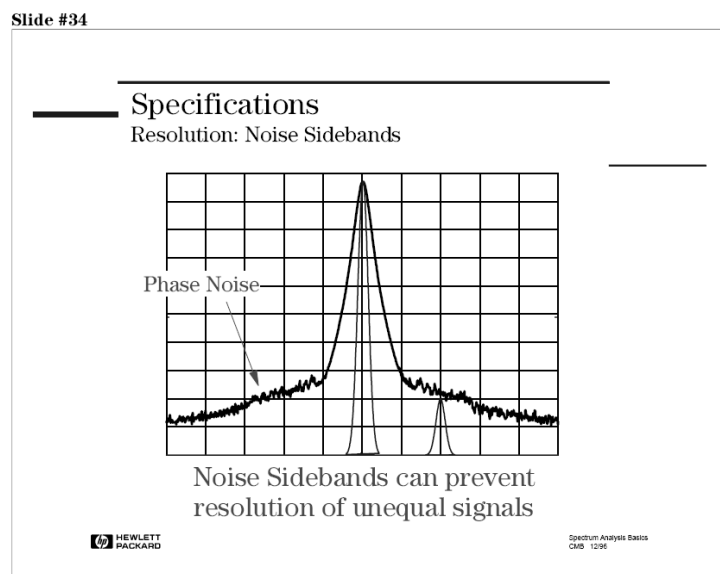
Slide #33



Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την ανάλυση (resolution) είναι η σταθερότητα (stability) συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή του αναλυτή φάσματος. Αυτή η εγγενής μη σταθερότητα συχνότητας ενός ταλαντωτή λέγεται residual FM. Αν το RBW του αναλυτή φάσματος είναι λιγότερο από το peak-to-peak FM, τότε το φαινόμενο residual FM εμφανίζεται, και το σήμα φαίνεται σαν “μουντζουρωμένο” (smearing). Δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί για το αν φταίει το σήμα ή το LO για αυτή την αστάθεια. Επιπλέον, το “μουντζούρωμα” αυτό, δυσχεραίνει πολύ την προσπάθεια μας να ξεχωρίσουμε δύο σήματα μεταξύ τους.

Εφαρμόζοντας κλείδωμα φάσης (*phase locking*) σε μία μέτρηση, μπορούμε να μειώσουμε το φαινόμενο residual FM.

#### 4.10. ΘΟΡΥΒΟΣ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ

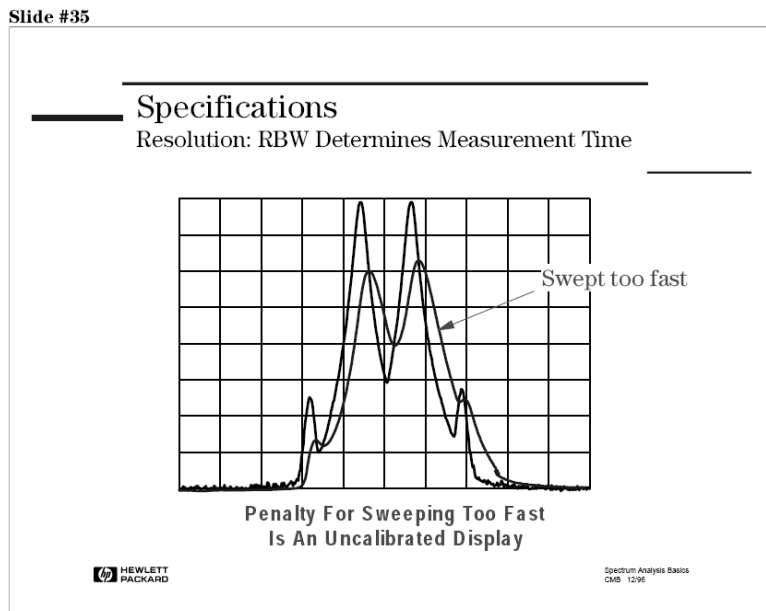


Η υπολειπόμενη αστάθεια εμφανίζεται σαν θόρυβος πλευρικών (sidebands noise) στην βάση της απόκρισης του σήματος. Αυτός ο θόρυβος μπορεί να καλύψει σήματα χαμηλού πλάτους που αλλιώς θα ήταν ευδιάκριτα. Ο θόρυβος πλευρικών επηρεάζει την ανάλυση μιας μεγεθυσμένης εικόνας ενός σήματος χαμηλής στάθμης πλάτους.

Ο θόρυβος πλευρικών έχει μονάδες dBc ή dB σχετιζόμενο με ένα φέρον και εμφανίζεται μόνο όταν το σήμα είναι αρκετά πάνω από την στάθμη θορύβου του συστήματος. Αυτός είναι ο απώτατος περιορισμός στις δυνατότητες ενός αναλυτή να ξεκαθαρίσει σήματα άνισα σε πλάτος. Το παραπάνω σχήμα μας δείχνει ότι αν και έχουμε καθορίσει ότι θα μπορούμε να δούμε ξεκάθαρα τα δύο σήματα σε εύρος 3dB και επιλεκτικότητα (selectivity), δυστυχώς παρατηρούμε ότι ο θόρυβος πλευρικών καλύπτει το μικρότερο σήμα.

Η προδιαγραφή θορύβου πλευρικών είναι συνήθως κανονικοποιημένη στο 1HzRBW. Επομένως, αν χρειαστεί να μετρήσουμε ένα σήμα 50dB κάτω από ένα φορέα στα 10kHz offset σε 1 kHz RBW, θα χρειαστούμε η προδιαγραφή του αναλυτή για τον θόρυβο πλευρικών να είναι  $\pm 80$  dBc/1Hz RBW στα 10kHz offset.

#### 4.11 ΧΡΟΝΟΣ ΣΑΡΩΣΗΣ

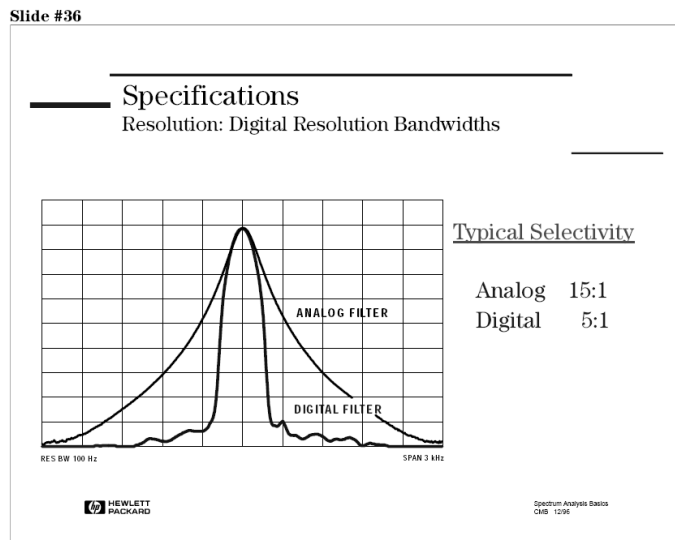


Όπως προαναφέραμε για να πετύχουμε καλύτερη ανάλυση σήματος, ένας τρόπος είναι να μικρύνουμε το RBW, σε αυτή την περίπτωση όμως πρέπει να λάβουμε υπόψη μας το χρόνο που χρειάζεται για να σαρωθεί. Αφού αυτά τα φίλτρα περιορίζονται από το εύρος ζώνης, χρειάζονται ένα πεπερασμένο χρόνο για να ανταποκριθούν σωστά. Στενότερα φίλτρα απαιτούν μεγαλύτερους χρόνους απόκρισης. Όταν ο χρόνος σάρωσης είναι λίγος, τα RBW φίλτρα δεν μπορούν να ανταποκριθούν, και η απεικόνιση του σήματος γίνεται μη-καλιμπραρισμένη (uncalibrated) σε πλάτος και συχνότητα, το πλάτος γίνεται μικρότερο και η συχνότητα μεγαλύτερη εξαιτίας της καθυστέρησης μέσα στο φίλτρο.

Οι μεταγενέστεροι αναλυτές φάσματος έχουν την λειτουργία auto-coupled sweep time που επιλέγει αυτόματα το ταχύτερο δυνατό χρόνο σάρωσης βασιζόμενο στις τιμές Span, RBW και VBW.

Οι αναλυτές φάσματος συνήθως έχουν μια ακολουθία 1-10 ή μια 1-3-10 από RBWs, μερικοί έχουν βήματα ανά 10%. Περισσότερες στάθμες RBWs είναι προτιμότερες γιατί επιτρέπουν να επιλέγουμε την κατάλληλη ανάλυση για να γίνει η μέτρηση στον γρηγορότερο χρόνο σάρωσης που είναι δυνατόν. Για παράδειγμα, αν μια ανάλυση 1kHz (1sec χρόνος σάρωσης) δεν είναι αρκετή, μια ακολουθία 1-3-

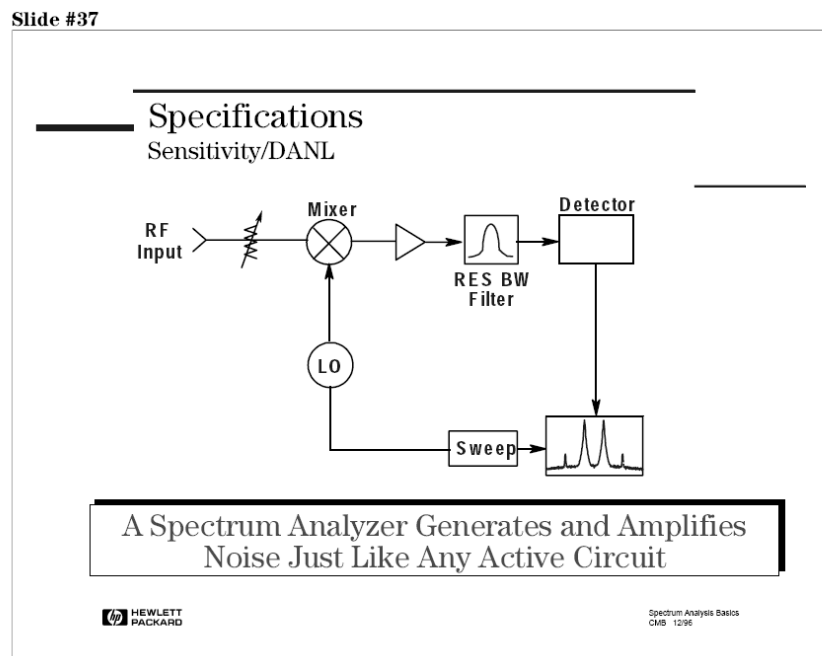
10 μπορεί να κάνει την μέτρηση σε 300Hz ResB W (10sec χρόνος σάρωσης),ενώ μια ακολουθία 1-10 πρέπει να χρησιμοποιήσει 100Hz ResBW (100sec χρόνος σάρωσης)!



Τέλος πρέπει να επισημάνουμε ότι οι αναλυτές φάσματος που χρησιμοποιούν φίλτρα IF βασισμένα σε ψηφιακή επεξεργασία σήματος (DSP) έχουν άριστη επιλεκτικότητα (selectivity) και ταχύτητα μέτρησης. Ο πίνακας που ακολουθεί δείχνει ακριβώς αυτό.

RBW	Βελτίωση Ταχύτητας
100 Hz	3.1
30 Hz	14.4
10 Hz	52.4
3 Hz	118
1 Hz	84

## 4.12. ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ



Μια από τις βασικές χρήσεις ενός αναλυτή φάσματος είναι να ψάξει και να μετρήσει σήματα χαμηλού πλάτους. Η ευαισθησία (sensitivity) οποιουδήποτε δέκτη είναι μια ένδειξη του πόσο καλά μπορεί να μετρήσει μικρά σήματα. Ο ιδανικός δέκτης δεν προσθέτει θόρυβο στον θερμικό θόρυβο που προϋπάρχει σε όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα, εκφράζεται με  $kTB$  ( $k$ =Σταθερά Boltzman,  $T$ =Θερμοκρασία και  $B$ =Εύρος ζώνης). Στην πράξη, όλοι οι δέκτες, συμπεριλαμβανομένου τους αναλυτές φάσματος, προσθέτουν ένα ποσοστό εσωτερικά παραγόμενου θορύβου.

Οι αναλυτές φάσματος συνήθως χαρακτηρίζουν τον εσωτερικό θόρυβο απεικονίζοντας το μέσο όρο του επιπέδου του θορύβου σε dBm, με την μικρότερη δυνατή τιμή του RBW. Ένα σήμα κάτω από το αυτό το επίπεδο θορύβου είναι αδύνατο να ανιχνευτεί. Μια γενική τιμή της ευαισθησίας είναι της τάξης από 90dBm έως -145dBm.

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την ευαισθησία του αναλυτή μας έτσι ώστε να αποφασίζουμε αν θα μετρήσει σωστά ένα σήμα χαμηλού πλάτους-έντασης.

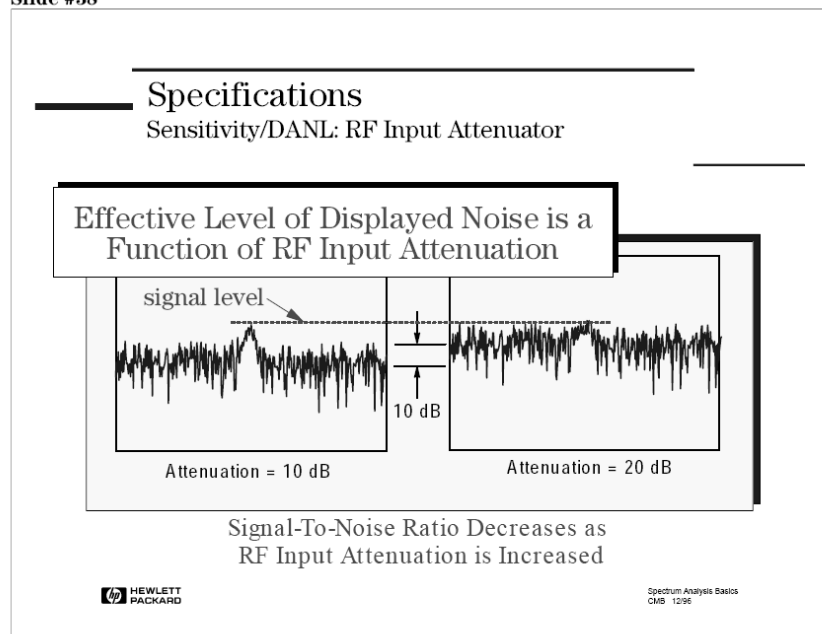


#### 4.13RF ΕΞΑΣΘΕΝΗΤΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ

Ας εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο σχετίζεται ο εξασθενητής εισόδου RF με τον εσωτερικό θόρυβο. Αφού ο εσωτερικός θόρυβος παράγεται μετά τον μίκτη, ο εξασθενητής εισόδου RF δεν έχει επίδραση στο γενικό επίπεδο θορύβου. Εφόσον, ο εξασθενητής εισόδου RF επηρεάζει το πλάτος του σήματος στην είσοδο, είναι επόμενο να έχουμε μείωση του SNR του αναλυτή. Το καλύτερο SNR πετυχαίνεται με την χαμηλότερη εξασθένηση εισόδου RF.

Παρατηρούμε στην εικόνα, ότι η απεικονιζόμενη στάθμη πλάτους, δεν πέφτει χαμηλότερα με αυξημένη την εξασθένηση. Θυμόμαστε από την Θεωρία ότι ο RF εξασθενητής εισόδου και το IF gain είναι “δεμένα” μεταξύ τους. Έτσι αυξάνοντας την RF εξασθένηση εισόδου 10dB, το IF gain θα αυξηθεί ταυτόχρονα 10dB για να αντισταθμίσει την απώλεια. Το αποτέλεσμα είναι ότι το σήμα στην οθόνη μένει σταθερό, αλλά το επίπεδο θορύβου αυξάνει 10dB.

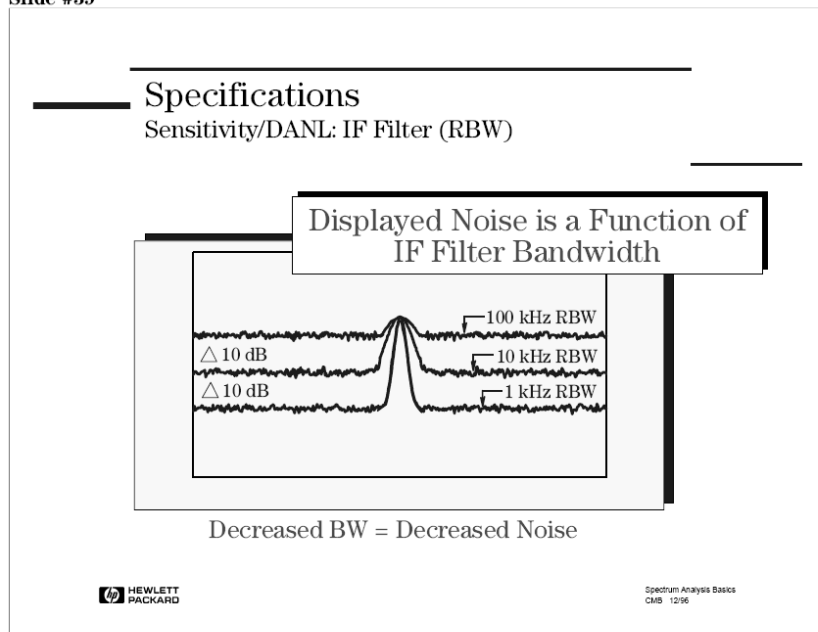
Slide #38



#### 4.14 IF ΦΙΛΤΡΟ

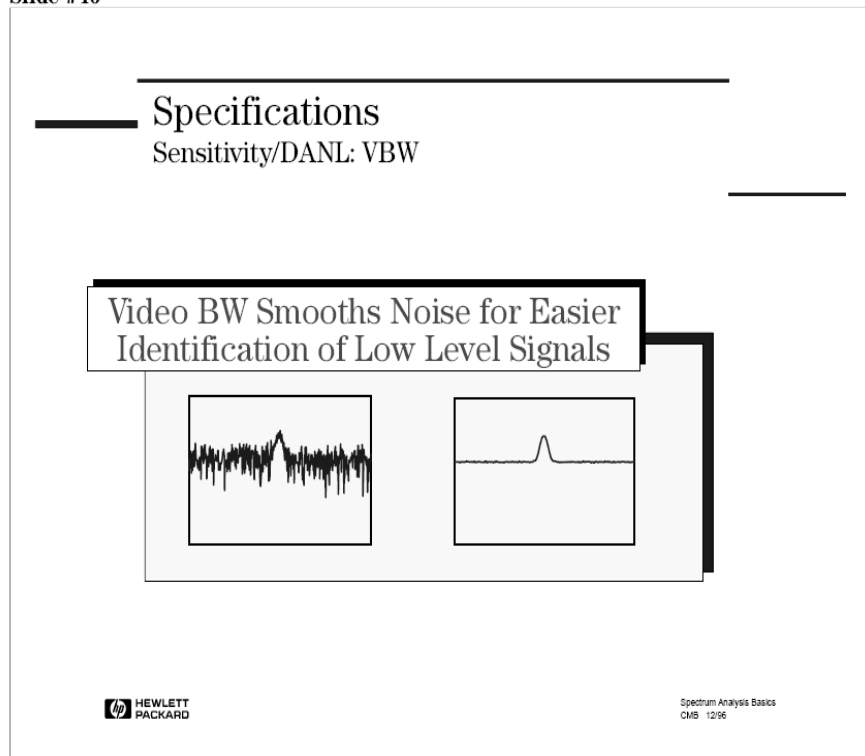
Αυτός ο εσωτερικά παραγόμενος θόρυβος σε μια συσκευή ανάλυσης φάσματος είναι θερμικής φύσης, δηλαδή είναι τυχαίος και δεν έχει κανένα ιδιαίτερο φασματικό συστατικό. Επίσης, η στάθμη του είναι επίπεδη πέρα από ένα εύρος συχνότητας που είναι πλατύτερο σε σύγκριση με το επιλεγμένο RBW. Αυτό σημαίνει ότι ο συνολικός θόρυβος που φθάνει στον ανιχνευτή (και απεικονίζεται) συσχετίζεται με το RBW που έχει επιλεγεί δεδομένου ότι ο θόρυβος είναι τυχαίος, η σχέση μεταξύ του απεικονιζόμενου επιπέδου θορύβου και RBW είναι λογαριθμική με βάση το δέκα. Με άλλα λόγια, εάν το RBW αυξάνεται (ή μειώνεται) κατά έναν παράγοντα επί δέκα φορές, δέκα φορές ενέργεια περισσότερος (ή λιγότερος) θόρυβος φτάνει στον ανιχνευτή, ο μέσος όρος του απεικονιζόμενου θορύβου (Displayed Average Noise Level -DANL) αυξάνεται (ή μειώνεται) κατά 10 dB.

Slide #39



## 4.15 VIDEO ΦΙΛΤΡΟ

Slide #40



Specifications  
Sensitivity/DANL: VBW

Video BW Smooths Noise for Easier Identification of Low Level Signals

HEWLETT  
PACKARD

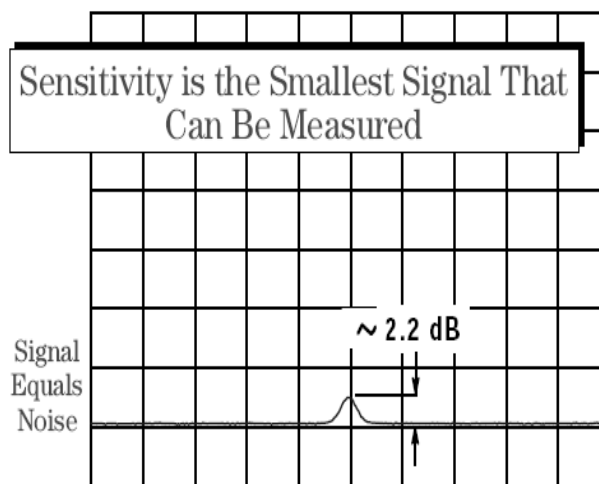
Spectrum Analysis Basics  
CM5 12/96

Στην Θεωρία μάθαμε πώς το video φίλτρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να ομαλοποιήσει τον θόρυβο για τον ευκολότερο προσδιορισμό των σημάτων χαμηλού επιπέδου-πλάτους. Δεδομένου ότι μιλάμε για τη μέτρηση των σημάτων χαμηλού επιπέδου-πλάτους, θα το επαναλάβουμε εδώ. Το VBW, εντούτοις, δεν επηρεάζει την ανάλυση (resolution) συχνότητας του αναλυτή (όπως το RBW) και επομένως η αλλαγή του VBW δεν βελτιώνει την ευαισθησία. Όμως, βελτιώνει το πόσο ευδιάκριτες θα είναι μετρήσεις με χαμηλό SNR.

Slide #41

## Specifications

Sensitivity/DANL



HEWLETT  
PACKARD

Spectrum Analysis Basics  
CMB 12/96

Ένα σήμα του οποίου η στάθμη πλάτους είναι ίση με το μέσο όρο του απεικονιζόμενου θορύβου (DANL) θα εμφανιστεί προσεγγιστικά σαν ένα 2.2dB “καρούμπαλο” πάνω από το μέσο όρο του απεικονιζόμενου θορύβου. Αυτό θεωρείται ότι είναι και η ελάχιστη στάθμη μετρήσιμου σήματος. Παρ όλα αυτά, θα δούμε το σήμα μόνο αν χρησιμοποιούμε φίλτρο video ώστε να μετριάσουμε τον θόρυβο.

Slide #42

## Specifications

Sensitivity/DANL

For Best Sensitivity Use:

- ★ **Narrowest Resolution BW**
- ★ **Minimum RF Input Attenuation**
- ★ **Sufficient Video Filtering  
(Video BW < .01 Res BW)**



Spectrum Analysis Basics  
Ch18 12/96

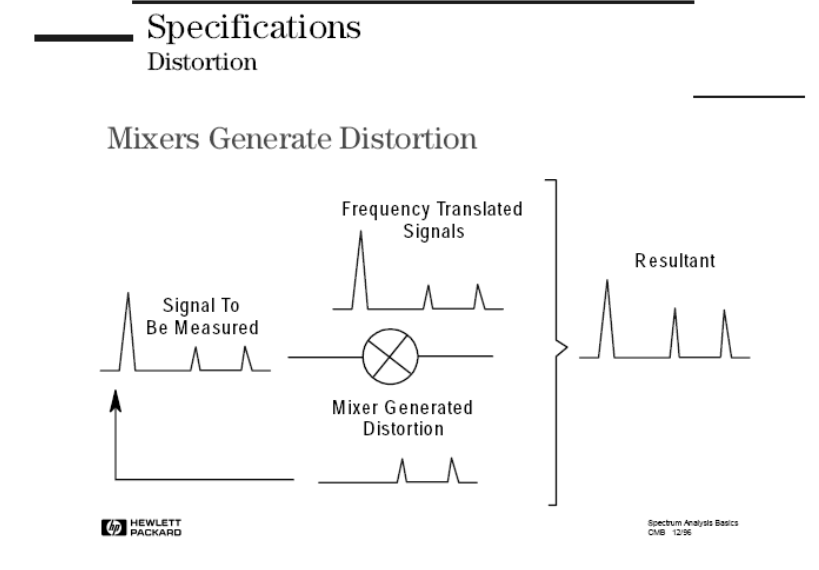
Σύμφωνα με αυτά που μάθαμε, καταλαβαίνουμε ότι η καλύτερη ρύθμιση της ευαισθησίας επιτυγχάνεται σε:

- 1) στενότερο RBW
- 2) ελάχιστη εξασθένιση εισόδου RF
- 3) χρησιμοποιώντας φίλτρο video

Προσέχετε όμως, η βελτιστοποίηση της ρύθμισης της ευαισθησίας μπορεί να έρθει σε αντίθεση με άλλες προδιαγραφές μέτρησης. Για παράδειγμα, μικρότερη ρύθμιση του RBW μπορεί να αυξήσει κατά πολύ τον χρόνο της μέτρησης. Επιπλέον, μηδενική εξασθένιση της εισόδου μπορεί να μειώσει την ακρίβεια της μέτρησης.

## 4.16 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Slide #43

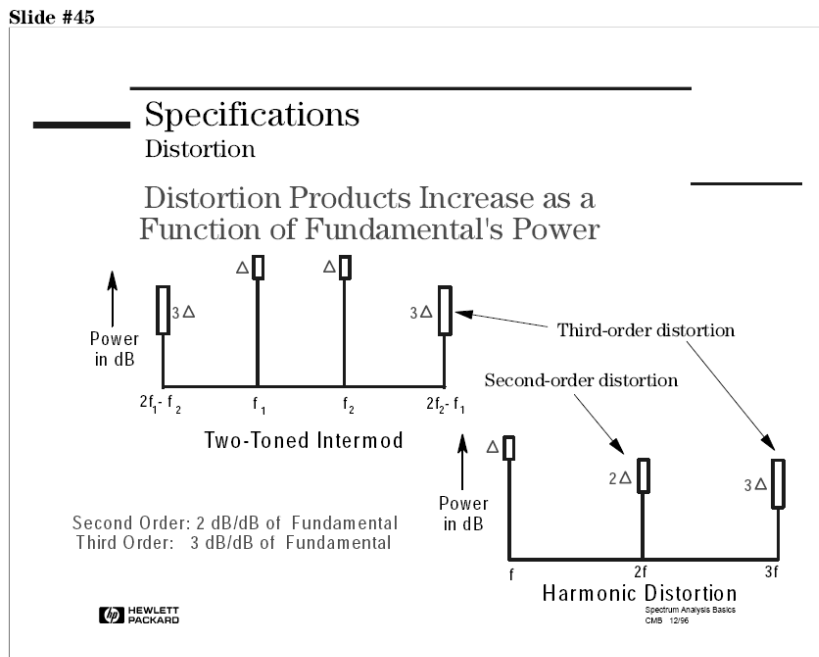


Αν και οι μετρήσεις παραμορφώσεων, όπως η ενδοδιαμόρφωση (intermodulation) τρίτης τάξεως και η αρμονική παραμόρφωση, είναι κοινές μετρήσεις για το χαρακτηρισμό συσκευών, ο ίδιος ο αναλυτής φάσματος παράγει επίσης παραμορφώσεις, και θα διαταράξει ενδεχομένως τη μέτρηση.

Οι παραμορφώσεις ενός ανάλυση φάσματος διευκρινίζονται από τον κατασκευαστή, είτε άμεσα, είτε συσσωρεύονται σε μια προδιαγραφή δυναμικής περιοχής όπως θα δούμε σύντομα.

Επειδή οι μίκτες είναι μη γραμμικές συσκευές, παράγουν εσωτερικές παραμορφώσεις. Αυτές οι εσωτερικές παραμορφώσεις μπορούν, στη χειρότερη περίπτωση, να καλύψουν εντελώς την εξωτερική παραμόρφωση της συσκευής. Αλλά ακόμα και όταν η εσωτερική παραμόρφωση έχει στάθμη χαμηλότερη από την παραμόρφωση που προσπαθούμε να μετρήσουμε, η εσωτερική παραμόρφωση συχνά προκαλεί λάθη στη μέτρηση της(εξωτερικής) παραμόρφωσης του DUT.

Όπως θα δούμε, η εσωτερικά παραγόμενη παραμόρφωση είναι συνάρτηση της ισχύς εισόδου, επομένως, δεν υπάρχει καμία προδιαγραφή παραμόρφωσης για έναν αναλυτή φάσματος. Πρέπει να καταλάβουμε πώς η παραμόρφωση συσχετίζεται με το σήμα εισόδου, έτσι ώστε να μπορούμε να καθορίσουμε για την εφαρμογή μας, εάν η παραμόρφωση που προκαλείται από τον αναλυτή, θα επηρεάσει ή όχι τη μέτρησή μας.

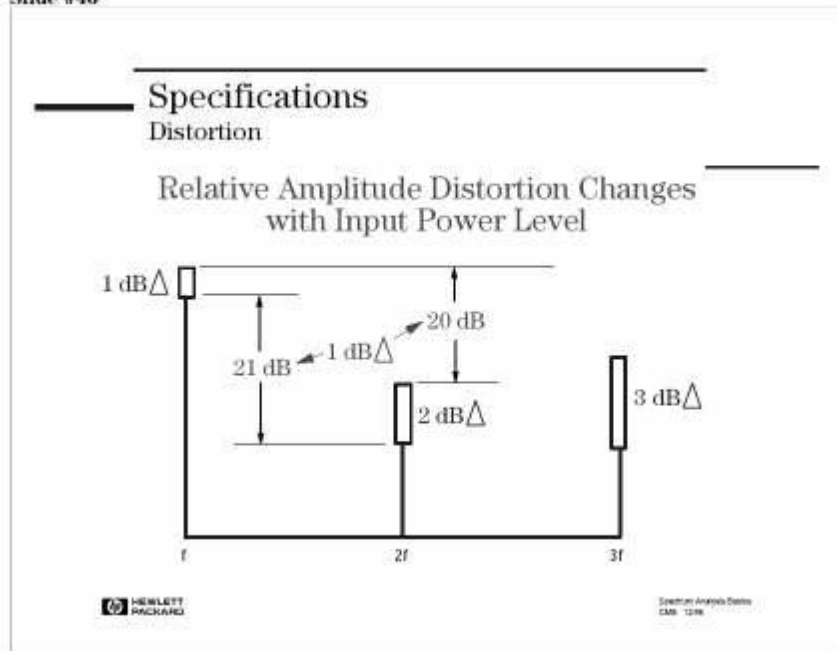


Η συμπεριφορά της παραμόρφωσης, για οποιαδήποτε μη-γραμμική συσκευή, είναι ή η εσωτερική παραμόρφωση του πρώτου μίκτη του αναλυτή ή η παραμόρφωση παραγόμενη από την συσκευή μας κατά την διάρκεια δοκιμής(φαίνεται παραπάνω). Η παραμόρφωση δεύτερης τάξεως αυξάνεται στο τετράγωνο σε σχέση με την θεμελιώδη και η παραμόρφωση τρίτης τάξεως αυξάνεται στον κύβο. Αυτό σημαίνει ότι στην λογαριθμική κλίμακα του αναλυτή φάσματος η στάθμη της δεύτερης τάξεως παραμόρφωσης θα αλλάξει 2 φορές γρηγορότερα σε σχέση με την θεμελιώδη και η τρίτης τάξεως παραμόρφωση θα αλλάξει 3 φορές γρηγορότερα.

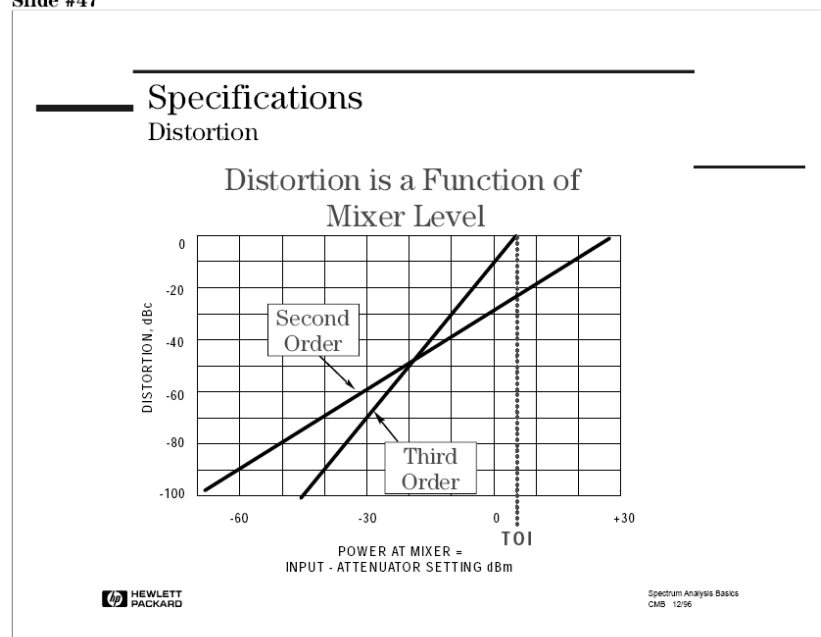
Οι περισσότερες μετρήσεις παραμόρφωσης γίνονται σε σχέση με τα θεμελιώδη σήματα. Όταν η στάθμη του θεμελιώδους σήματος μειωθεί κατά 1dB, η παραμόρφωση δεύτερης τάξεως μειώνεται κατά 2dB, αλλά σχεσιακά με το θεμελιώδες, μειώνεται κατά 1dB.Υπάρχει σχέση 1 προς 1 ανάμεσα στο θεμελιώδες και παραμόρφωση δεύτερης τάξεως.

Όταν η στάθμη του θεμελιώδες σήματος μειωθεί κατά 1dB, η παραμόρφωση τρίτης τάξεως μειώνεται κατά 3dB, αλλά σχεσιακά με το θεμελιώδες ,μειώνεται κατά 2dB. Υπάρχει σχέση 2 προς 1 ανάμεσα στο θεμελιώδες και παραμόρφωση τρίτης τάξεως.

Slide #46



Slide #47





Η κατανόηση αυτής της έννοιας είναι χρήσιμη στον καθορισμό της παραμόρφωσης μέσα στον αναλυτή. Εδώ έχουμε την γραφική παράσταση των σταθμών της δεύτερης και τρίτης τάξεως παραμόρφωσης σχεσιακά με τα σήματα που τις προκάλεσαν. Ο Χ-άξονας είναι το πλάτος του σήματος στον πρώτο μίκτη. Ο Υ-άξονας είναι το εσωτερικά-παραγόμενο επίπεδο παραμορφώσεων του αναλυτή φάσματος εκφρασμένο σε dBc.

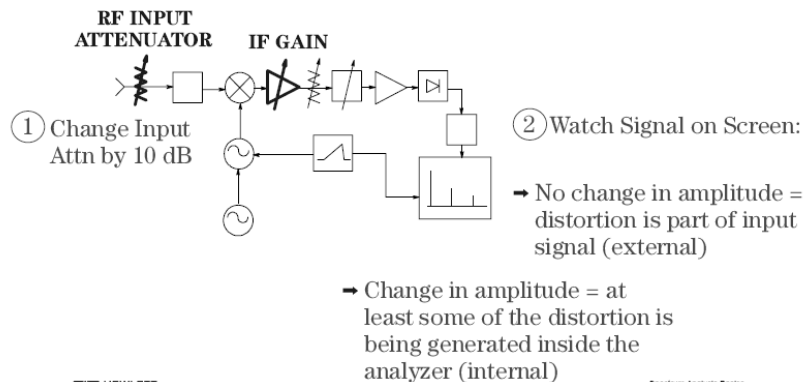
Παρατηρείστε την κλίση της δεύτερης και τρίτης τάξεως καμπύλης. Η κλίση είναι 1-1 ( $y=x$ ) για την καμπύλη δεύτερης τάξεως, επειδή κάθε αλλαγή dB στο θεμελιώδες επίπεδο αλλάζει εξίσου το επίπεδο της δεύτερης τάξεως αρμονικής παραμόρφωσης σχετικά με το θεμελιώδη. Η καμπύλη τρίτης τάξεως έχει κλίση 1-2 επειδή η σχέση μεταξύ θεμελιώδους και τρίτης τάξεως παραμόρφωσης αλλάζει δύο φορές γρηγορότερα από την θεμελιώδη. Συνεπώς, εάν η παραμόρφωση του αναλυτή, διευκρινίζεται για μια στάθμη σημάτων στον μίκτη, η παραμόρφωση σε οποιοδήποτε άλλη στάθμη μπορεί εύκολα να καθορισθεί. Αυτό το παράδειγμα δείχνει ότι για μια στάθμη έστω -40 dBm στον μίκτη, η παραμόρφωση τρίτης τάξεως είναι -90 dBc και η παραμόρφωση δεύτερης τάξεως είναι -70 dBc.

Slide #48

## Specifications


### Distortion

Distortion Test:  
Is it Internally or Externally Generated?



① Change Input Attn by 10 dB

② Watch Signal on Screen:  
→ No change in amplitude = distortion is part of input signal (external)  
→ Change in amplitude = at least some of the distortion is being generated inside the analyzer (internal)

 HEWLETT  
PACKARD

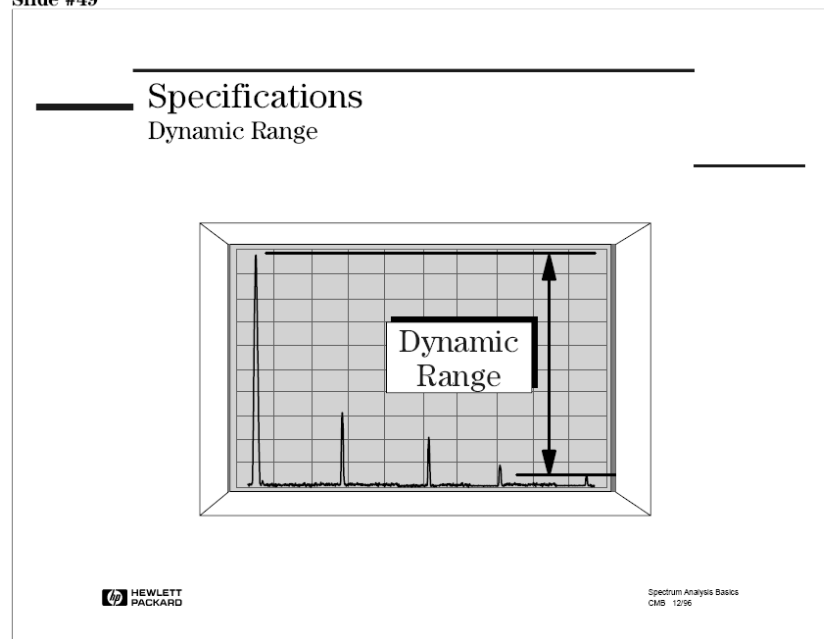
Spectrum Analysis Basics  
CMS 12/96

Πως μπορούμε να καταλάβουμε αν η παραμόρφωση που βλέπουμε στην οθόνη του αναλυτή οφείλεται σε παραμόρφωση παραγόμενη εσωτερικά στον αναλυτή, ή είναι παραμόρφωση που οφείλεται στο DUT (Device Under Test).

Θυμόμαστε ότι ο εξασθενητής εισόδου RF και το IF κέρδος (gain) είναι “δεμένα” μεταξύ τους έτσι ώστε το σήμα εισόδου να μένει σταθερό στην οθόνη όταν ρυθμίζουμε την εξασθένιση εισόδου RF για σήματα υψηλής στάθμης πλάτους (για να αποφύγουμε υψηλές τιμές στον μίκτη). Εάν η παραμόρφωση στην οθόνη του αναλυτή δεν αλλάζει όταν αλλάζουμε την εξασθένιση εισόδου RF, μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι η παραμόρφωση προέρχεται από το DUT (οφείλεται στο σήμα εισόδου).

Αν όμως, όταν αλλάζουμε την εξασθένιση εισόδου RF το σήμα στην οθόνη αλλάζει, τότε ξέρουμε ότι η παραμόρφωση παράγεται μέσα στον αναλυτή, ή έστω ένα μέρος της κάπου μετά την εξασθένιση εισόδου και ότι δεν προέρχεται όλη από το DUT.

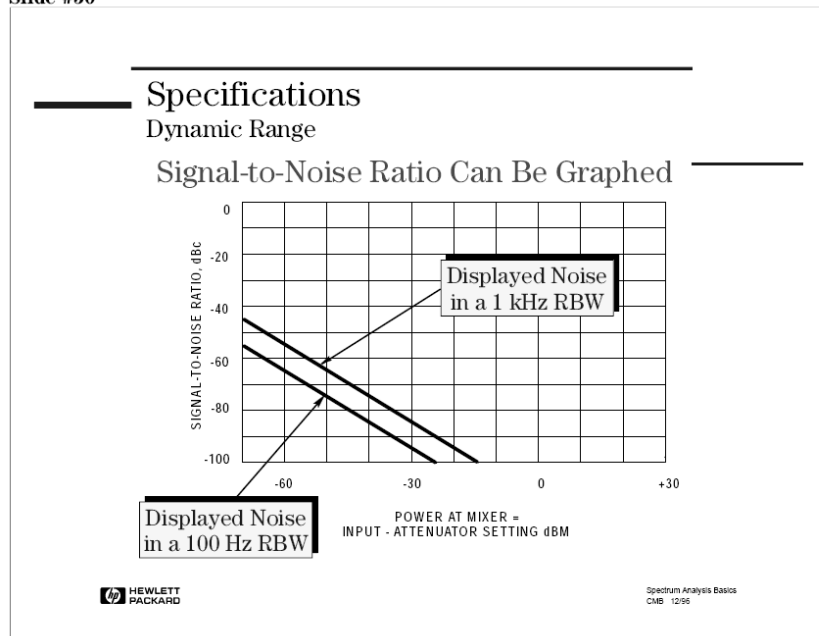
Slide #49



Δυναμική περιοχή ορίζεται σαν τον μέγιστο λόγο δύο σημάτων που εμφανίζονται ταυτόχρονα στην είσοδο όπου και μπορούν να μετρηθούν με συγκεκριμένη ακρίβεια. Μπορούμε να φανταστούμε δύο σήματα που συνδέονται στην είσοδο του αναλυτή, ένα του οποίου η στάθμη είναι μέγιστη επιτρεπτή σύμφωνα με τις προδιαγραφές του αναλυτή και η στάθμη του δεύτερου σήματος που είναι πολύ μικρότερη. Το μικρότερο σήμα μειώνεται σε πλάτος έως ότου να μην είναι ανιχνεύσιμο από τον αναλυτή. Όταν το μικρότερο σήμα είναι ίσα ίσα μετρήσιμο, ο λόγος των δύο σημάτων (σε dB) καθορίζει την δυναμική περιοχή του αναλυτή.

Η δυναμική περιοχή του αναλυτή μας καθορίζει το εύρος τιμών σε πλάτος που μπορούμε να κάνουμε αξιόπιστες μετρήσεις.

Slide #50

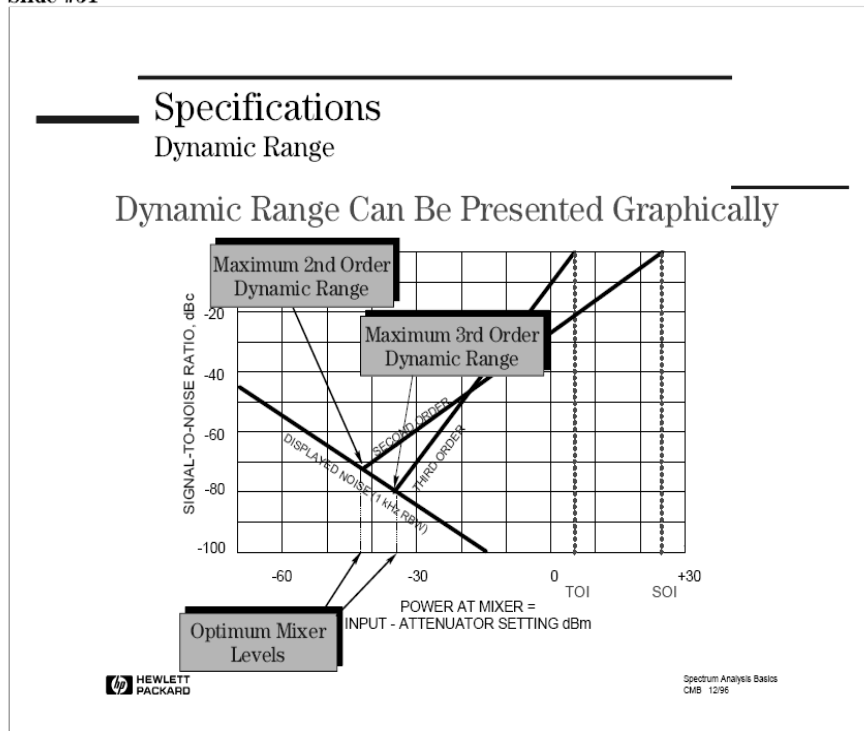


Σε προηγούμενη σελίδα σχεδιάσαμε γραφικές παραστάσεις του λόγου SNR. Το παραπάνω γράφημα λέγεται γράφημα δυναμικής περιοχής και όπως σχεδιάσαμε την παραμόρφωση σε συνάρτηση με το πλάτος του σήματος στον μίκτη, έτσι μπορούμε να σχεδιάσουμε και το SNR σαν συνάρτηση του πλάτους του σήματος στον μίκτη.

Οι καμπύλες σήμα-με-παραμόρφωση μας λένε ότι η μέγιστη δυναμική περιοχή για παραμόρφωση είναι όταν έχουμε ελάχιστη στάθμη πλάτους στον μίκτη. Ξέρουμε όμως, ότι ο θόρυβος προερχόμενος από τον αναλυτή επηρεάζει την δυναμική περιοχή. Το γράφημα δυναμικής περιοχής για θόρυβο (το παραπάνω) μας πληροφορεί ότι η καλύτερη δυναμική περιοχή για θόρυβο λαμβάνει χώρα στην υψηλότερη δυνατή στάθμη σήματος.

Και τώρα έχουμε το κλασικό πρόβλημα, στην μια μεριά θα θέλαμε να σηκώσουμε την στάθμη του μίκτη όσο ψηλότερα είναι δυνατό για να έχουμε καλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο, αλλά από την άλλη, για να ελαχιστοποιήσουμε την εσωτερική παραγόμενη παραμόρφωση, πρέπει να χαμηλώσουμε την στάθμη του μίκτη όσο χαμηλότερα είναι δυνατό. Έτσι, η καλύτερη δυναμική περιοχή είναι ένας συμβιβασμός ανάμεσα στο SNR και την εσωτερική παραγόμενη παραμόρφωση.

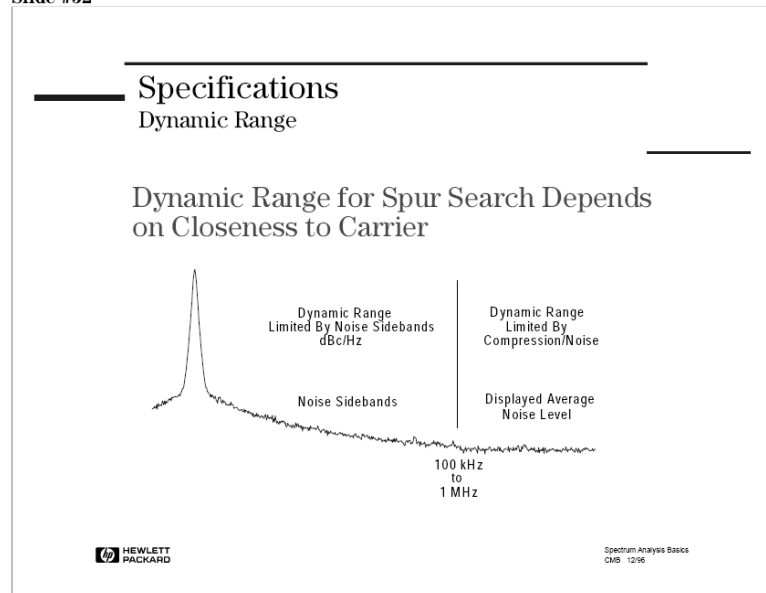
Slide #51



Ας βάλουμε και τα δύο γραφήματα μαζί ταυτόχρονα. Η μέγιστη δυναμική περιοχή είναι εκεί που οι καμπύλες τέμνονται και αυτό γίνεται, όταν το επίπεδο της εσωτερικά παραγόμενης παραμόρφωσης είναι ίσο με το απεικονιζόμενο μέσο όρο θορύβου. Αυτό δείχνει δύο από τις προδιαγραφές δυναμικής περιοχής. Θα εξετάσουμε και άλλες αργότερα.

Το βέλτιστο επίπεδο μίξης λαμβάνει χώρα όταν έχουμε μέγιστη δυναμική περιοχή. Αν τα σήματα μας είναι στα 0dBm και ο εξασθενητής έχει βήματα των 10dB, μπορούμε να επιλέξουμε επίπεδα μίξης των 0,-10,-20,-30,-40 dBm, κτλ. Πολλά από αυτά τα επίπεδα μας δίνουν αρκετή δυναμική περιοχή για να δούμε παραμορφώσεις τρίτης τάξεως στα -50dBc. Παρ' όλα αυτά, κρατώντας τον εσωτερικά παραγόμενο θόρυβο και την παραμόρφωση όσο χαμηλότερα γίνεται ελαττώνουμε τα σφάλματα. Μια ρύθμιση στον μίκτη ανάμεσα στα -30 και -40 dBm θα μας επιτρέψει να κάνουμε την μέτρηση με ελάχιστο σφάλμα.

Slide #52



Ο τελευταίος παράγοντας που επηρεάζει την δυναμική περιοχή είναι ο θόρυβος φάσης, ή ο θόρυβος πλευρικών η το LO του αναλυτή φάσματος.

Στο παραπάνω σχήμα, η δυναμική περιοχή του “ζουμαρισμένου” μέρους, για τα χαμηλού επιπέδου spurs καθορίζεται από τον θόρυβο πλευρικών περίπου 100kHz με 1MHz του φέροντος. Πέρα από τον θόρυβο πλευρικών, η δυναμική περιοχή είναι ο λόγος compression-to-noise.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι όταν τα σήματα είναι πολύ “κοντά” μεταξύ τους έτσι ώστε ο θόρυβος πλευρικών περιορίζει την δυναμική περιοχή. Σε αυτήν την περίπτωση, αντί της δυναμικής περιοχής -80 dB, ο θόρυβος πλευρικής ζώνης σε 1 kHz RBW περιορίζουν την επιτεύξιμη δυναμική περιοχή μας στα -60 dBc ανά 1 kHz RBW. Για τεστ παραμορφώσεων, ο θόρυβος φάσης μπορεί επίσης να σχεδιαστεί στη γραφική παράσταση δυναμικής περιοχής ως οριζόντια γραμμή στο επίπεδο της προδιαγραφής θορύβου φάσης σε δεδομένο offset.

Slide #53

## Specifications

### Dynamic Range


Actual Dynamic Range is the Minimum of:

Maximum dynamic range calculation

Calculated from:

- distortion
- sensitivity

Noise sidebands at the offset frequency

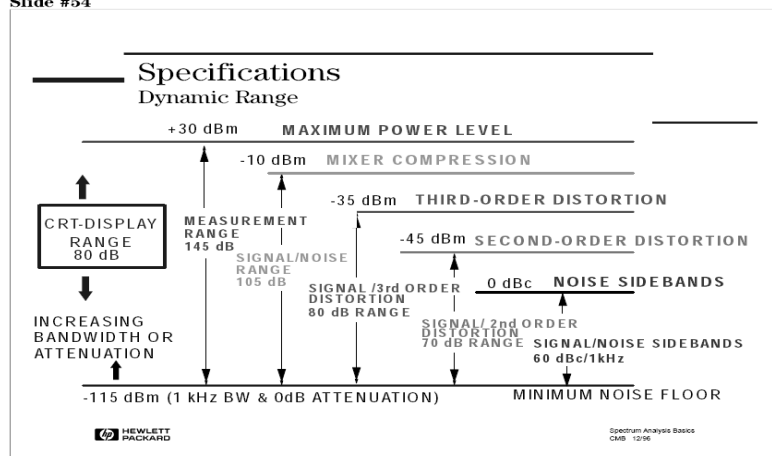


Spectrum Analysis Basics  
CMB 12/96

Είδαμε προηγουμένως ότι η δυναμική περιοχή ενός αναλυτή φάσματος περιορίζεται από τρεις παράγοντες, την ευαισθησία του συστήματος, την απόδοση του μίκτη εισόδου, και το θόρυβο φάσης του τοπικού ταλαντωτή. Οι 2 πρώτοι παράγοντες χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί η μέγιστη δυναμική περιοχή. Επομένως, η πραγματική δυναμική περιοχή είναι το ελάχιστο της:

- 1) μέγιστης δυναμικής περιοχής
- 2) του θορύβου των πλευρικών.

Slide #54



Υπάρχουν πολλές “περιοχές-εύρος” συσχετιζόμενες με τον αναλυτή φάσματος. Συνήθως ο όρος δυναμική περιοχή αναφέρεται στην ικανότητα μέτρησης δύο σημάτων ταυτόχρονα.

Το “εύρος απεικόνισης” αναφέρεται στο καλιμπραρισμένο εύρος πλάτους της οθόνης CRT. Για παράδειγμα μερικοί αναλυτές με οθόνη με οκτώ divisions μπορεί να έχουν εύρος απεικόνισης μόνο 70 dB όταν επιλέγουμε 10 dB ανά division και αυτό γιατί τα κατώτερα(χαμηλότερα) divisions δεν καλιμπράρονται.

Το “εύρος μέτρησης” είναι ο λόγος του μεγαλύτερου προς το μικρότερο σήμα, που μπορεί να μετρηθεί κάτω από οποιαδήποτε συνθήκες – αλλά όχι ταυτόχρονα. Το ανώτατο όριο καθορίζεται από την μέγιστη ασφαλή στάθμη εισόδου, +30 dBm (1 Watt) για τους περισσότερους αναλυτές. Η ευαισθησία ορίζει το κατώτατο όριο.

Οι άλλες τέσσερις “περιοχές-εύρους”(σήμα/θόρυβος, σήμα/παραμόρφωσης τρίτης τάξεως, σήμα/παραμόρφωσης δευτέρας τάξεως, και σήμα/θόρυβος πλευρικών) ορίζονται όταν μετράμε δύο σήματα ταυτόχρονα, και έτσι, ονομάζονται προδιαγραφές δυναμικής περιοχής. Για να συνοψίσουμε τι έχουμε μάθει για τη δυναμική περιοχή, μπορούμε να συγκρίνουμε τις τέσσερις τιμές δυναμικής περιοχής του σχήματος παραπάνω. Παρατηρούμε ότι ο θόρυβος πλευρικών περιορίζει την δυναμική περιοχή περισσότερο, ενώ η ευαισθησία την περιορίζει λιγότερο. Αυτό συμφωνεί με ότι μάθαμε προηγουμένως από τα γραφήματα δυναμικής περιοχής και από τον θόρυβο πλευρικών.

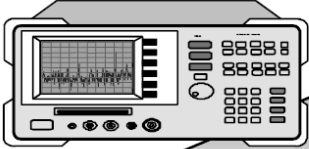
Τώρα που κατανοήσαμε τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά ενός αναλυτή φάσματος, ας ρίξουμε μια ματιά σε κάποιες ιδιαίτερες λειτουργίες-χαρακτηριστικά που πολλοί αναλυτές φάσματος έχουν και μπορούν να αυξήσουν την ευκολία χρήσης, την αποδοτικότητα και την χρησιμότητα του αναλυτή.



## 5. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ

Slide #56

### Features



- ▶ Basic Operation
  - ✓ remote operation
  - ✓ markers
  - ✓ limit lines
- ▶ Modulation Measurements
  - ✓ time domain
  - ✓ FFT
  - ✓ AM/FM detector
  - ✓ time-gating
- ▶ Stimulus Response Measurements
  - ✓ tracking generator
- ▶ Noise Measurements
  - ✓ noise marker
  - ✓ averaging

HEWLETT  
PACKARD

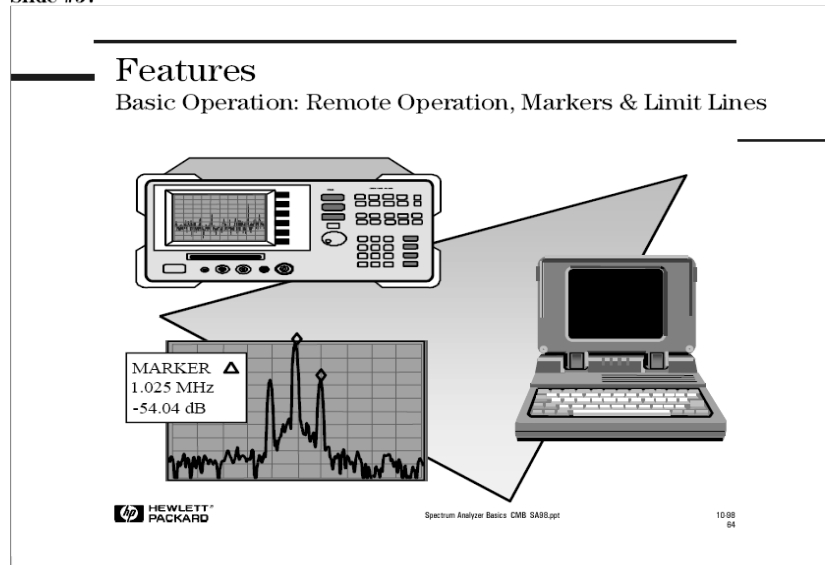
Spectrum Analyzer Basics CMB SA98.ppt

1098  
63

Τα χαρακτηριστικά κατηγοριοποιούνται με βάση το πεδίο εφαρμογής τους, έτσι ώστε να περιγράψουμε καλύτερα την λειτουργία τους. Στο πρώτο γκρουπ, κάτω από το Basic Operation, είναι κάποιες λειτουργίες των πλήκτρων-κουμπιών που βελτιώνουν την χρήση του αναλυτή για οποιαδήποτε εφαρμογή.

Απομακρυσμένη λειτουργία, Σημάδια, Γραμμές περιορισμού

Slide #57



“Remote operation”(Αυτόματη/απομακρυσμένη λειτουργία): Προσωπικοί Υπολογιστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν άμεσα την λειτουργία ενός αναλυτή φάσματος χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο GPIB. Προσωπικοί Υπολογιστές μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ώστε να αναπτύξουμε ειδικά προγράμματα για τον αναλυτή φάσματος. Ο αναλυτής αποθηκεύει τα προγράμματα αυτά στην εσωτερική μνήμη του και τα χρησιμοποιεί σαν στάνταρτ ρουτίνες μετρήσεων, που γίνονται γρηγορότερα και ευκολότερα.

Επιπρόσθετα, οι αναλυτές φάσματος που υποστηρίζουν διασύνδεση υπολογιστή με διασύνδεση RS-232 ή USB ή GPIB μπορούν να “οδηγήσουν” έναν εκτυπωτή ή ένα plotter, έτσι ώστε να έχουμε αντίγραφο της CRT οθόνης χωρίς την χρήση Προσωπικού Υπολογιστή.

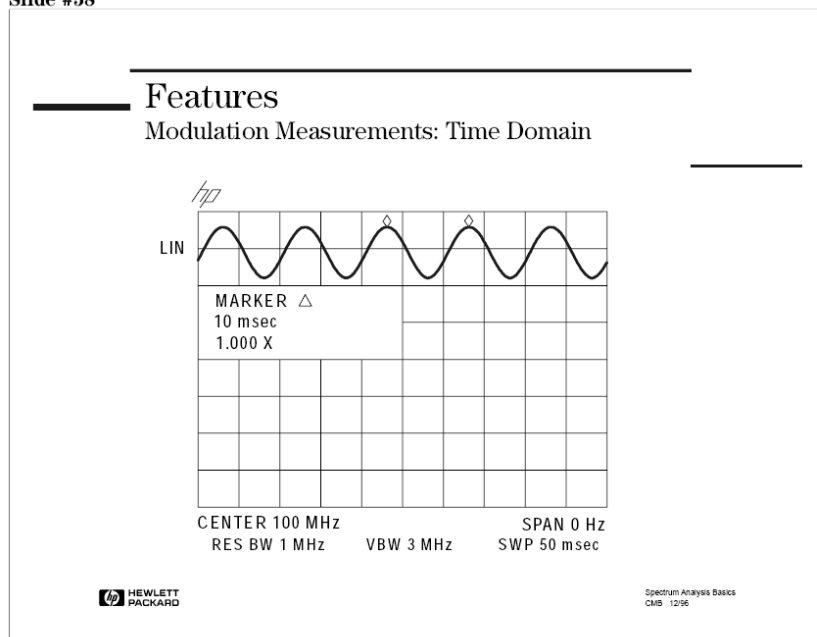
“Markers”(Σημάδια): Οι markers μας βοηθάνε στο να βρούμε γρήγορα και ακριβέστατα το πλάτος και την συχνότητα κορυφών σημάτων και να καθορίσουμε την διαφορά ανάμεσα σε κορυφές.

“Limit lines” (Γραμμές περιορισμού): Οι σύγχρονοι αναλυτές φάσματος προσφέρουν δυνατότητα ηλεκτρονικού περιορισμού με γραμμές. Αυτό μας επιτρέπει να συγκρίνουμε δεδομένα trace με ένα σετ παραμέτρων πλάτους και συχνότητας, κατά την διάρκεια που αναλυτής σαρώνει την περιοχή μέτρησης. Όταν το σήμα που μας ενδιαφέρει πέσει μέσα στα όρια που έχουμε ορίσει με τις Γραμμές περιορισμού, τότε ο αναλυτής εμφανίζει ένα μήνυμα PASS. Αν το σήμα μας “πέσει”

έξω από τα όρια που έχουμε ορίσει με τις Γραμμές περιορισμού, εμφανίζεται το μήνυμα FAIL.

## 6. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΧΡΟΝΟΥ

Slide #58



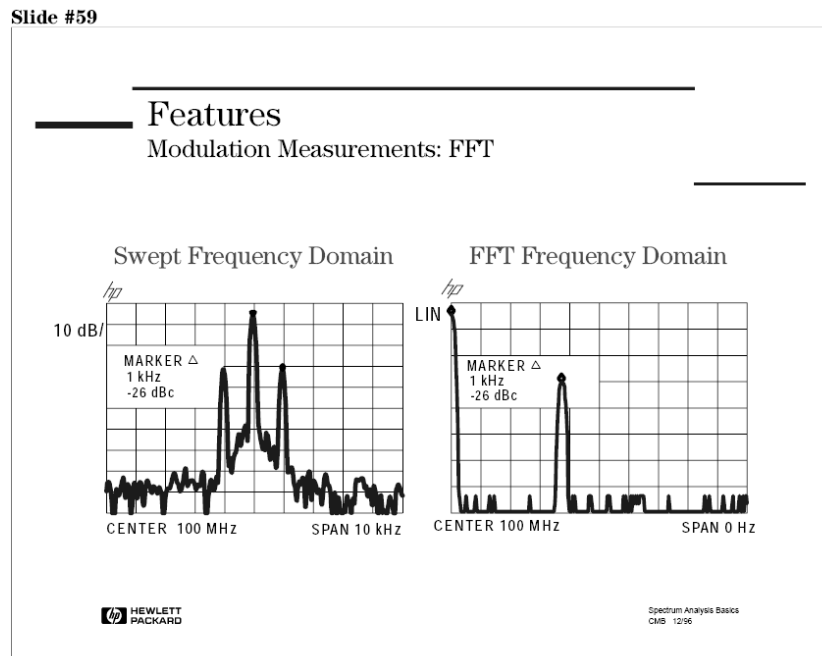
Όπως ξέρουμε οι αναλυτές φάσματος χρησιμοποιούνται κυρίως για να εξετάσου με σήματα στο πεδίο της συχνότητας, αλλά είναι δυνατό να χρησιμοποιούμε τον αναλυτή φάσματος για να εξετάσουμε το πεδίο του χρόνου. Αυτό επιτυγχάνεται με την λειτουργία zero-span. Η λειτουργία αυτή είναι χρήσιμη και στον καθορισμού του τύπου διαμόρφωσης ή αποδιαμόρφωσης.

Ο αναλυτής φάσματος ρυθμίζεται για μηδενική έκταση συχνότητας (frequency span of zero) με μερικό μη μηδενικό χρόνο σάρωσης. Η κεντρική συχνότητα ρυθμίζεται στην συχνότητα του φέροντος και το RBW πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο έτσι ώστε οι πλευρικές μπάντες διαμόρφωσης να συμπεριληφθούν στην μέτρηση. Ο αναλυτής θα σχεδιάσει το πλάτους του σήματος σε συνάρτηση με τον χρόνο, μέσα στους περιορισμούς που ορίζουν ο ανιχνευτής το video και τα RBWs. Ο αναλυτής φάσματος μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας παλμογράφος επιλεκτικής συχνότητας με εύρος ζώνης ίσο με το ευρύτερο RBW.

Η παραπάνω εικόνα μας δείχνει ένα σήμα διαμορφωμένο σε πλάτος (AM) χρησιμοποιώντας την τεχνική zero-span. Η απεικόνιση είναι κάπως διαφορετική από την αντίστοιχη ενός παλμογράφου. Ο αναλυτής φάσματος χρησιμοποιεί έναν ανιχνευτή περιβάλλουσας (envelope detector), που αφαιρεί το φέρον. Έτσι, μόνο το αποδιαμορφωμένο σήμα απεικονίζεται.

Το σχήμα δείχνει ένα σημάδι δέλτα 10ms. Αφού αυτός είναι ο χρόνος ανάμεσα στις δύο κορυφές, η περίοδος  $T$  είναι 10 ms. Θυμίζουμε ότι η περίοδος  $T=1/f_{\text{mod}}$  (όπου  $f_{\text{mod}}$  =συχνότητα διαμόρφωσης). Έτσι,  $f_{\text{mod}}$  είναι 100Hz.

Η λειτουργία zero-span δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε σήματα που μεταβάλλονται γρήγορα, μιας και ο μικρότερος δυνατός χρόνος σάρωσης των περισσότερων αναλυτών είναι αργότερος από αυτό που είναι αναγκαίο. Η λειτουργία (zero-span) δεν περιορίζεται από μετρήσεις διαμόρφωσης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξετάσει οποιοδήποτε σήμα που μεταβάλλεται αργά σε πλάτος, όπως ένα σήμα που μεταδίδεται στον αέρα και εξασθενεί στην ατμόσφαιρα.



Άλλη μία συνηθισμένη μέτρηση που γίνεται σε σήματα AM είναι ο δείκτης διαμόρφωσης, που μας πληροφορεί για τον ποσοστιαίο βαθμό διαμόρφωσης (0-100%).

Το γράφημα στα αριστερά είναι μία τυπική γραφική παράσταση (στο πεδίο της συχνότητας) ενός σήματος διαμορφωμένο σε πλάτος. Θυμηθείτε ότι πρέπει το RBW να είναι  $\ll f_{mod}$  σε αυτή την περίπτωση, έτσι ώστε οι πλευρικές να φαίνονται καθαρά. Στο πεδίο της συχνότητας, η  $f_{mod}$  διαχωρίζει τις δύο πλευρικές. Το πλάτος

των δύο αυτών πλευρικών, σχετικά με το φέρον, μας δίνει τον βαθμό διαμόρφωσης. Η εξίσωση που μας επιτρέπει να μετατρέψουμε αυτό το σχετικό πλάτος πλευρικών σε δείκτη διαμόρφωσης είναι:

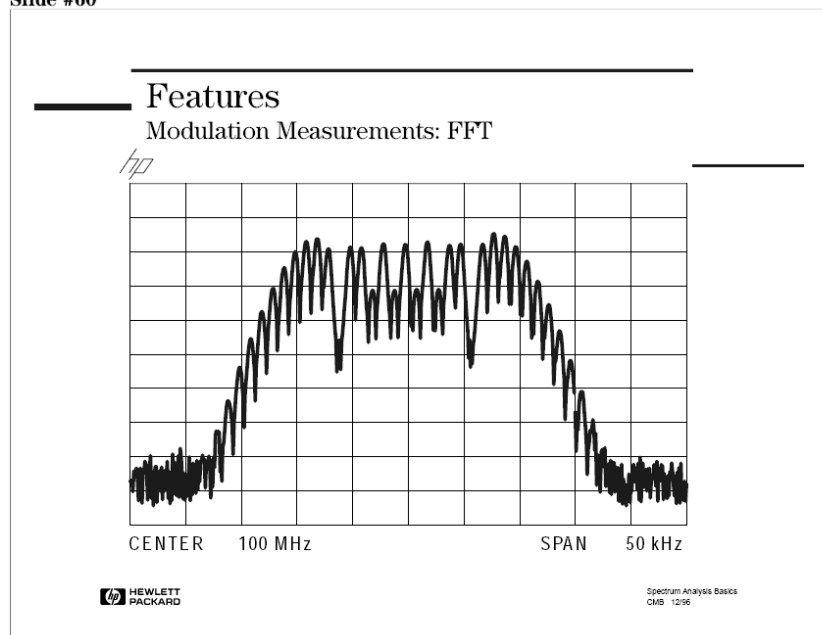
$$m = 2 \times 10^{(AdB/20)}$$

όπου AdB είναι το πλάτος πλευρικών σχετικά με το φέρον, εκφρασμένο σε decibel. Για το παράδειγμα μας,  $m = 0.1$  ή 10%.

Χρησιμοποιώντας FFT (γρήγορο μετασχηματισμό Fourier) είναι ένας άλλος τρόπος για να πραγματοποιήσουμε την μέτρηση. Στην αρχή μιλήσαμε για τους

αναλυτές Fourier και αναφέραμε ότι παίρνουν την πληροφορία στο πεδίο του χρόνου και την μετατρέπουν στο πεδίο της συχνότητας με μαθηματικές σχέσεις. Μερικοί αναλυτές έχουν μια λειτουργία που κάνει ακριβώς το ίδιο. Κατά την διάρκεια που βρισκόμαστε σε κατάσταση λειτουργίας στο πεδίο του χρόνου, η λειτουργία FFT είναι διαθέσιμη. Αυτό κάνει τον αναλυτή να απεικονίσει το πεδίο της συχνότητας με βάση το FFT του πεδίου του χρόνου (όχι μετρώντας το άμεσα). Το γράφημα στα δεξιά είναι ένα παράδειγμα FFT-πεδίου συχνότητας. Το φέρον είναι τέρμα αριστερά επειδή είναι στα 0Hz σχετικά με τον εαυτό του. Η άνω πλευρική είναι στα δεξιά του φέροντος και απέχει από το φέρον κατά  $f_{mod}$ . Το εύρος συχνότητας (span) εξαρτάται από τον χρόνο σάρωσης (sweep time). Όπως ακριβώς και στο πεδίο συχνότητας με λειτουργία σάρωσης, markers μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουν πλάτος φέροντος,  $m$  και  $f_{mod}$ . Όπως βλέπουμε, ένας delta marker είναι στο 1kHz και  $-26\text{dBc}$ . Έτσι  $f_{mod} = 1\text{kHz}$  και  $m = 10\%$ .

Slide #60

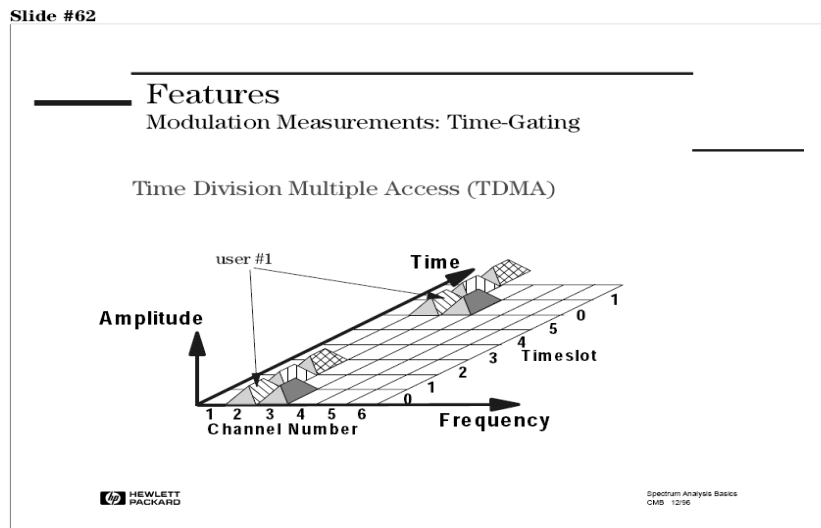


Η λειτουργία FFT στους αναλυτές φάσματος είναι χρήσιμη όταν για παράδειγμα έχουμε ένα φέρον που έχει AM και FM διαμόρφωση όπου το ποσοστό FM διαμόρφωσης είναι πολύ περισσότερο από το ποσοστό AM, όπως δείχνει η παραπάνω εικόνα με FM ( $f_{mod} = 1\text{kHz}$ ), με αποτέλεσμα να είναι αδύνατο να μετρήσουμε το ποσοστό AM αυτού του σήματος σε λειτουργία σάρωσης συχνότητας.

Παρ' όλα αυτά, σε λειτουργία FFT και χρησιμοποιώντας ευρύ RBW, μπορούμε εύκολα να μετρήσουμε AM στο παραπάνω σήμα. Αυτό είναι δυνατό γιατί χρησιμοποιώντας ευρύ RBW σε συνδυασμό με ανιχνευτή περιβάλλουσας, αφαιρούμε την FM και αφήνουμε μόνο την AM.

Επιπρόσθετα, η λειτουργία FFT μας δίνει καλύτερη ακρίβεια πλάτους, αναλυτικότητα συχνότητας, και βελτίωση ταχύτητας. Το μοναδικό μειονέκτημα του FFT είναι ότι η σχετική ακρίβεια συχνότητας δεν είναι τόσο καλή όσο στην λειτουργία σάρωσης.



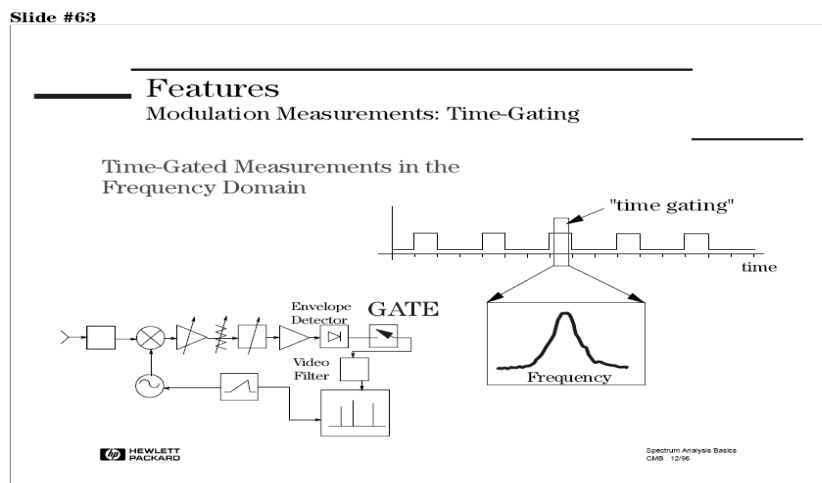


Για να εξηγήσουμε την λειτουργία time-gating ενός αναλυτή φάσματος, θα χρησιμοποιήσουμε ένα παράδειγμα ψηφιακών τηλεπικοινωνιών, την Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Χρόνου (TDMA - Time Division Multiple Access). Είναι μια τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με το διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε έναν συγκεκριμένο αριθμό «καναλιών» / πλαισίων και στη συνέχεια την διαίρεση αυτών σε ίσες και σύντομες χρονικές σχισμές ή χρονοθυρίδες, ώστε να επιτρέπεται η μετάδοση του σήματος από το κινητό στο δίκτυο (σταθμό βάσης) και αντίστροφα.

Για να διατηρούμε την ποιότητα ψηφιακών υπηρεσιών απαιτείται η μέτρηση του TDMA σήματος στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας. Ο χρονισμός των ριπών (bursts), και οι χρόνοι ανόδου και καθόδου πρέπει να εξεταστούν έτσι ώστε να γίνει βέβαιο ότι ριπές (bursts) σε κοντινές χρονοθυρίδες δεν επικαλύπτονται. Στο πεδίο της συχνότητας, η ποιότητα της διαμόρφωσης μπορεί να επιβεβαιωθεί εξετάζοντας το φάσμα RF.

Όταν εξετάζουμε το φάσμα, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τις επιδράσεις στο σήμα λόγω του φαινομένου συνεχόμενης διαμόρφωσης (continuous modulation). Η λειτουργία time gating στον αναλυτή φάσματος, μας επιτρέπει να κάνουμε ακριβώς αυτό.

Ανάλυση με λειτουργία time-gating, προσφέρει λύση σε δυσκολίες μετρήσεων στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας. Η λειτουργία time-gating προσφέρει ακριβή αλλά ταυτόχρονα ελαστικό έλεγχο στο σημείο που μια σάρωση πεδίου χρόνου ξεκινά, επιτρέποντας την σάρωση να κεντραριστεί πάνω από μια επιθυμητή χρονοθυρίδα. Οποιαδήποτε χρονοθυρίδα, ή τμήμα μιας χρονοθυρίδας, μπορεί να εξεταστεί σε μέγιστη ανάλυση χρόνου (time resolution).



Η υλοποίηση της λειτουργίας είναι αρκετά απλή. Μια πύλη video (video gate), παρεμβάλλεται ανάμεσα στον ανιχνευτή “περιβάλλουσας” (envelope detector) και στο φίλτρο video.

Όταν κάνουμε μετρήσεις θορύβου, είναι μερικές λειτουργίες στον αναλυτή φάσματος που μπορούν να κάνουν μετρήσεις ευκολότερα και ακριβέστερα.

Όταν επιλέξουμε τη λειτουργία μαρκαρίσματος θορύβου (noise marker), η λειτουργία sample mode ενεργοποιείται, οι τιμές διαδοχικών στοιχείων trace, γύρω από τον marker υπολογίζονται κατά μέσο όρο, και αυτή η τιμή του μέσου όρου κανονικοποιείται σε μια αντίστοιχη τιμή 1Hz εύρος ζώνης θορύβου. Η λειτουργία noise marker είναι μεγάλη ευκολία όταν κάνουμε μετρήσεις θορύβου.

Μια άλλη λειτουργία που είναι χρήσιμη όταν κάνουμε μετρήσεις σε τυχαίο θόρυβο είναι η video averaging. Είναι μια μέση τιμή του της πληροφορίας trace του αναλυτή χρησιμοποιώντας ψηφιακές τεχνικές, και είναι διαθέσιμη σε αναλυτές με ψηφιακές οθόνες. Η μέση τιμή εφαρμόζεται σε κάθε σημείο της οθόνης ξεχωριστά.

## 7. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ SCPI

Τα πρώτα όργανα μετρήσεων που υποστήριξαν την δυνατότητα έλεγχου εξ αποστάσεως με βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, παρουσιάστηκαν το 1960 και χρησιμοποιούσαν μια ευρεία γκάμα “μη-ανοιχτών”(κλειστού κώδικα) εντολών και πρωτοκόλλων επικοινωνίας μονοπωλιακής φύσης. Το 1975, το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) ενέκριναν το IEEE 488-1975. Το πρότυπο IEEE 488 - 1975 όριζε ένα στάνταρτ ηλεκτρικού και μηχανικού πρωτοκόλλου για συνδετήρες και καλώδια. Επιπλέον όριζε την χειραψία, διευθυνσιοδότηση και το γενικό πρωτόκολλο επικοινωνίας για μεταφορά ψηφιακών δεδομένων από και προς όργανα μετρήσεων και υπολογιστές. Αυτό το στάνταρτ έχει ανανεωθεί και είναι το IEEE 488.1-1987.

Παρ’ ότι κατάφερε να λύσει το πρόβλημα του πώς θα σταλούν bytes δεδομένων ανάμεσα σε όργανα μετρήσεων και υπολογιστές, το IEEE 488 δεν καθόριζε την σημασία-ερμηνεία αυτών των δεδομένων. Έτσι οι κατασκευαστές οργάνων μέτρησης εισήγαγαν νέες εντολές καθώς ανέπτυσαν νέα όργανα μετρήσεων. Η μορφή των δεδομένων που επέστρεφε το όργανο μέτρησης ήταν διαφοροποιημένη για το κάθε όργανο. Στα τέλη του 1980 ξεκίνησε μια προσπάθεια ορισμού νέων στάνταρτ ώστε να καθοριστεί το πώς θα ερμηνεύονται τα δεδομένα που στέλνονται με το IEEE 488.

Το 1987, η IEEE ανακοίνωσε το IEEE 488.2-1987, Codes, Formats, Protocols and Commons Commands for Use with IEEE 488.1-1987. Αυτό το στάνταρτ καθόριζε του ρόλους των οργάνων μέτρησης και των υπολογιστών σε ένα σύστημα μέτρησης και μια δομημένη μέθοδο για επικοινωνία. Συγκεκριμένα, το 488.2 περιέγραφε πώς θα σταλούν εντολές σε όργανα και πώς θα σταλούν οι απαντήσεις στους υπολογιστές. Καθόρισε μερικές συχνά χρησιμοποιούμενες εντολές, αλλά κάθε κατασκευαστής οργάνων μέτρησης αφέθηκε με το “προνόμιο” να δημιουργεί νέες εντολές και να καθορίζει την λειτουργία τους. Το 488.2 καθόρισε πως συγκεκριμένοι τύποι νέων δυνατοτήτων/χαρακτηριστικών θα πρέπει να ενσωματώνονται αν υποστηρίζονται από το όργανο. Γενικά όμως, δεν όρισε ποια χαρακτηριστικά ή εντολές θα πρέπει να ενσωματωθούν για ένα συγκεκριμένο όργανο μέτρησης. Έτσι, ήταν πιθανό δύο παρόμοια όργανα μέτρησης να συμμορφώνονται με το IEEE 488.2, όμως να έχουν ένα εντελώς διαφορετικό σύνολο εντολών.

Οι πρότυπες εντολές για προγραμματιζόμενα Όργανα μέτρησης (Standard Commands for Programmable Instruments SCPI) είναι μια νέα γλώσσα προγραμματισμού για τον έλεγχο οργάνων, η οποία προχωρά ένα βήμα πιο μπροστά από το IEEE 488.2 έτσι ώστε να διευθετήσει μια ευρεία ποικιλία λειτουργιών οργάνων μέτρησης με καθορισμένο τρόπο. Η γλώσσα SCPI προωθεί μια συνέπεια, με όρους προγραμματισμού, ανάμεσα σε όργανα της ίδιας κλάσης και ανάμεσα σε όργανα με παρόμοιες δυνατότητες λειτουργίας. Για μια συγκεκριμένη μέτρηση όπως συχνότητα ή τάση, η SCPI ορίζει ένα συγκεκριμένο σύνολο εντολών που είναι διαθέσιμο για αυτή την μέτρηση. Έτσι, δύο παλμογράφοι φτιαγμένοι από διαφορετικές εταιρίες μπορούν να προγραμματιστούν για να επιτελέσουν μετρήσεις συχνότητας με τον ίδιο τρόπο. Επιπλέον είναι δυνατόν για ένα όργανο που υποστηρίζει την γλώσσα SCPI να κάνει μια μέτρηση συχνότητας χρησιμοποιώντας τις ίδιες εντολές όπως στον παλμογράφο.

Οι εντολές SCPI είναι εύκολες στην εκμάθηση, δηλαδή μελετώντας μια SCPI εντολή μπορούμε εύκολα να καταλάβουμε τι λειτουργία επιτελεί. Η γλώσσα SCPI απευθύνεται ταυτόχρονα σε προχωρημένους και αρχάριους προγραμματιστές. Εάν κατανοήσουμε την οργάνωση και δομή της SCPI, μπορούμε να αποκομίσουμε σημαντικά οφέλη ανεξάρτητα τις γλώσσας προγραμματισμού που θα επιλέξουμε.

## 8. ΕΝΤΟΛΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΝΑΛΥΤΗ

Αυτό το κεφάλαιο περιέχει SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) εντολές προγραμματισμού για τους αναλυτές φάσματος Agilent ESA. Για όλες τις εντολές συσχετιζόμενες με τις διαθέσιμες μετρήσεις όταν πατιέται το κουμπί MEASURE.

Οι εντολές που θα μελετήσουμε είναι οι παρακάτω:

### IEEE Common Commands

*OPC	:INSTrument[:SElect]
*IDN?/qonly/	:SYSTem:DATE
*RST/nquery/	:SYSTem:ERRor:ALL?/qonly/
*WAI/nquery/	:SYSTem:TIME
*WAI/nquery/	:TRACe[:DATA]?/qonly/
:ABORt/nquery/	[:SENSe]:BWIDth:VIDeo
:DISPlay[:WINDow]:FETCh?/qonly/	[:SENSe]:BWIDth:VIDeo
:DISPlay[:WINDow]:TRACe:MODE	[:SENSe]:BWIDth[:RESolution]
:DISPlay[:WINDow]:TRACe:MODE	[:SENSe]:DETector[:FUNction]
:DISPlay[:WINDow]:TRACe:Y:SPACing	[:SENSe]:FREQuency:CENTer
:DISPlay[:WINDow]:TRACe:Y[:SCALE]:RLEVel	[:SENSe]:FREQuency:SPAN
:FORMat[:DATA]	[:SENSe]:FREQuency:START
:INITiate:CONTinuous	[:SENSe]:FREQuency:STOP
:INITiate[:IMMediate]/nquery/	[:SENSe]:SWEep:COUNT
:INPut:ATTenuation	[:SENSe]:SWEep:POINts
:INPut:ATTenuation	[:SENSe]:SWEep:TIME
:INSTrument:NSElect	

### IEEE Common Commands (Κοινές εντολές κάτω από το πρότυπο IEEE)

Αυτές οι εντολές είναι ορισμένες στο IEEE Standard 488.2-1992, IEEE Standard Codes, Formats, Protocols and Common Commands for Use with ANSI/IEEE Std 488.1- 1987. New York, NY, 1992. Οι κοινές εντολές αποτελούνται από μια κεφαλίδα αστερίσκου "\*" και από μία ή πολλές παραμέτρους, σε περίπτωση που έχουν.

- ❖ \*CLS
- ❖ \*ESR?
- ❖ \*OPC
- ❖ \*OPC?
- ❖ \*IDN?
- ❖ \*RST?
- ❖ \*WAI
- ❖ :ABORt

Calibration Query (Ερώτημα καλιμπραρίσματος)

\*CAL?

Εκτελεί μια ολοκληρωμένη ευθυγράμμιση και επιστρέφει έναν αριθμό που υποδεικνύει την επιτυχία της ευθυγράμμισης. Μηδέν επιστρέφεται αν η ευθυγράμμιση ήταν επιτυχής. Η αντίστοιχη SPCI εντολή είναι :CALibrate [:ALL]? Η πρόσβαση από τα κουμπιά του αναλυτή είναι: System->Alignments -> Align All Now

CLEAR STATUS

\*CLS

Ορίζει το Status Byte (STB), το standard event register (ESR) και το EVENT κομμάτι του QUESTionable και του OPERation καταχωρητή σε μηδέν. Η εντολή δεν μεταβάλλει την μάσκα και τα μέρη μετάβασης(transitionparts) των καταχωρητών. Καθαρίζει τον buffer εξόδου.



## Event Status Register

\*ESR?

Μπορεί να συγκριθεί με ένα EVENT κομμάτι ενός SCPI καταχωρητή. Ο καταχωρητής κατάστασης συμβάντος (EventStatusRegister) μπορεί να αναγνωστεί χρησιμοποιώντας την εντολή \*ESR?. Διερωτάται το περιεχόμενο της παρούσας κατάστασης του register.

Επιστρέφει τα περιεχόμενα του EventStatusRegister σε δεκαδική μορφή (0 to 255) και μεταγενέστερα θέτει την τιμή του καταχωρητή 0.

Παράμετρος:

0 έως 255

Table 7-2: Meaning of the bits in the event status register

Bit No.	Meaning
0	<b>Operation Complete</b> This bit is set on receipt of the command *OPC exactly when all previous commands have been executed.
1	Not used
2	<b>Query Error</b> This bit is set if either the controller wants to read data from the instrument without having sent a query, or if it does not fetch requested data and sends new instructions to the instrument instead. The cause is often a query which is faulty and hence cannot be executed.
3	<b>Device-dependent Error</b> This bit is set if a device-dependent error occurs. An error message with a number between -300 and -399 or a positive error number, which denotes the error in greater detail, is entered into the error queue.
4	<b>Execution Error</b> This bit is set if a received command is syntactically correct but cannot be performed for other reasons. An error message with a number between -200 and -300, which denotes the error in greater detail, is entered into the error queue.
5	<b>Command Error</b> This bit is set if a command is received, which is undefined or syntactically incorrect. An error message with a number between -100 and -200, which denotes the error in greater detail, is entered into the error queue.
6	Not used
7	<b>Power On (supply voltage on)</b> This bit is set on switching on the instrument.

## OPERATION COMPLETE

\*OPC

Θέτει την τιμή 0 στον καταχωρητή event status register αφού έχουν εκτελεστεί όλες οι προηγούμενες εντολές. Αυτό το bit μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ξεκινήσει μια αίτηση υπηρεσίας (servicerequest).

\*OPC?

Σταματάει την εντολή που εκτελείται μέχρι να επιστραφεί η τιμή 1. Αυτή είναι μόνο η περίπτωση αφού το Operation Complete bit έχει τεθεί στο ESR. Το bit αυτό δείχνει ότι η προηγούμενη ρύθμιση έχει γίνει.

## IDENTIFICATION QUERY

\*IDN?

Ρωτάει την αναγνώριση του οργάνου.

"SYSTEM:FORMAT:IDENT<IDNFormat>"

### Τιμή επιστροφής:

<InstrumentName>, <SerialNumber/Model>,  
<FirmwareVersion>

<Όνομα Οργάνου>, <Σειριακός Αριθμός/Μοντέλο>, <Έκδοση  
Λογισμικού>

Reset

\*RST?

Επαναφέρει τον αναλυτή σε αρχική κατάσταση.

## WAIT TO CONTINUE

\*WAI

Επιτρέπει την εκτέλεση των επόμενων εντολών μόνο αφότου όλες οι προηγούμενες εντολές έχουν εκτελεστεί και όλα τα σήματα έχουν εγκατασταθεί. Σταματάει την περαιτέρω επεξεργασία εντολών έως ότου όλες οι εντολές πριν την \*WAI να έχουν εκτελεστεί.

## ABORT

:ABORt

Η εντολή διακόπτει την τρέχουσα μέτρηση και επαναφέρει το σύστημα ενεργοποίησης. Αυτή η εντολή είναι event και έτσι δεν έχει ούτε ερώτημα (query) ούτε \*RST τιμή.

## ΕΝΤΟΛΕΣ ΜΕ ΙΧΝΗ

Οι ακόλουθες εντολές θέτουν το ίχνος (trace) και διάφορες λειτουργίες που σχετίζονται με αυτό, π.χ. μαθηματικά ίχνη ή την επιλογή του ανιχνευτή.

- ❖ :DISPlay[:WINDow]:TRACe:MODE
- ❖ :FORMat[:DATA]
- ❖ :TRACe[:DATA]?
- ❖ [:SENSe]:DETector[:FUNCTion]

:DISPlay[:WINDow]:TRACe:MODE<TraceMode>

Αυτή η εντολή επιλέγει τα δεδομένα ίχνους.

**Παράμετρος:** <TraceMode>

AVERage | MAXHold | MINHold | VIEW | WRITe

**Παράδειγμα:**

SWE:CONT OFF

SWE:COUN 16

Ενεργοποίηση της μονής επιλογής sweep και θέτει τον αριθμό μέτρησης 16

DISP:TRAC:MODE MAXH

Ενεργοποιεί το MAXHold από το trace.

INIT;\*WAI

Ξεκινάει την μέτρηση και περιμένει το τέλος των 6 επαναλήψεων

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή\*RST: WRITe

SCPI: device-specific

**:FORMat[:DATA]<DataFormat>**

Αυτή η εντολή επιλέγει την μορφή δεδομένων που χρησιμοποιείται για την μετάδοση των δεδομένων ίχνους από τον R&S FSH αναλυτή προς τον υπολογιστή ελέγχου.

**Παράμετρος:** <DataFormat>

ASCII	Μορφής ASCII, διαχωρισμένα με κόμμα.
REAL,32	32-bit IEEE 754 αριθμοί κινητής υποδιαστολής στο “Πεπερασμένου μήκους μορφής μπλοκ”

**Παράδειγμα:**

FORMASC

Επιλέγει την μορφή ASCII

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή\*RST: ASCII

SCPI: conform

:TRACe[:DATA]?

Αυτή η εντολή διαβάζει τα δεδομένα ίχνους (trace data) της τρέχουσας μέτρησης.

Με την εντολή: FORMat[:DATA]<DataFormat>, μπορεί να οριστεί η μορφή δεδομένων.

#### **Παράμετρος:**

Οι διαθέσιμες παράμετροι εξαρτώνται από την μορφή της ένδειξης αποτελέσματος.

#### **Ένδειξη μίας S-Παραμέτρου**

TRACE1 Ρωτάει τα παρόντα δεδομένα που εμφανίζονται

#### **Ένδειξη δυο S-Παραμέτρων**

TRACE1 Ρωτάει τα δεδομένα της άνω οθόνης

TRACE2 Ρωτάει τα δεδομένα της κάτω οθόνης

#### **Ένδειξη τεσσάρων S-Παραμέτρων**

TRACE1 Ρωτάει τα δεδομένα του S11

TRACE2 Ρωτάει τα δεδομένα του S21

TRACE3 Ρωτάει τα δεδομένα του S22

TRACE4 Ρωτάει τα δεδομένα του S12

#### **Τιμή επιστροφής:**

Ο αναλυτής μας επιστρέφει 631 τιμές. Κάθε τιμή αντιστοιχεί σε ένα pixel ίχνους.

Το αποτέλεσμα και η μονάδα εξαρτάται από την μορφοποίηση της μέτρησης.

#### **Παράδειγμα:**

TRAC:DATA? TRACE1

Διαβάζει τα δεδομένα του ίχνους 1 (trace 1)

#### **Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: -

SCPI: conform



:TRACe[:DATA]<Trace>

Αυτή η εντολή ρωτάει τα αποτελέσματα της μέτρησης.

**Παράμετρος:**TRACE1

**Τιμή επιστροφής (για TRACE1):**

Οι επιστρεφόμενες τιμές εξαρτώνται από την επιλογή ένδειξης αποτελέσματος:

-Επισκόπηση Φάσματος και έκρηξη ισχύος (BurstPower)

Ο αναλυτής επιστρέφει 631 τιμές. Κάθε τιμή αντιστοιχεί σε ένα pixel του ίχνους(trace).

- Περίληψη αποτελέσματος.

Ο αναλυτής επιστρέφει τα αποτελέσματα της περίληψης αποτελέσματος (ResultSummary). Η σειρά των τιμών είναι η ακόλουθη:

<ChannelPower>, <BurstPower>, <FreqError>, <Modulation>,

<BSIC>, <TrafficActivity>, <Slot#>, <PhaseError>, <MagError>

Η εντολή επιστρέφει '1.#QNAN' εάν ένα αποτέλεσμα δεν μπορεί να υπολογιστεί (π.χ. εάν η αναζήτηση καναλιών είναι απενεργοποιημένη).

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: -

SCPI: conform

[[:SENSe]:DETeCtor[:FUNctioN]:AUtO<State>

Αυτή η εντολή συνδέει και αποσυνδέει τον ανιχνευτή του ίχνους.

**Παράμετρος:**<State>

ON | OFF

**Παράδειγμα:**

DET:AUTO OFF

Απενεργοποιεί την επιλογή αυτόματης ανίχνευσης.

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: ON

SCPI: conform

## ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ

Οι ακόλουθες εντολές ρυθμίζουν τον κατακόρυφο άξονα της ενεργής οθόνης.

- ❖ :DISPlay[:WINDow]:TRACe:Y:SPACing
- ❖ :DISPlay[:WINDow]:TRACe:Y[:SCALe]:RLEVel
- ❖ :INSTrument:NSElect
- ❖ :INSTrument[:SElect]

:DISPlay[:WINDow]:TRACe:Y:SPACing<Scaling>

Αυτή η εντολή επιλέγει την κλιμάκωση του κάθετου άξονα.

**Παράμετρος:**<Scaling>

LOGarithmic – Λογαριθμική κλιμάκωση

LINear–Γραμμική κλιμάκωση (%)

**Παράδειγμα:**

DISP:TRAC:Y:SPACLIN

Επιλέγει γραμμική κλιμάκωση του άξονα επιπέδου.

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: LOGarithmic (Λογαριθμική)

SCPI: conform

`:DISPlay[:WINDow]:TRACe:Y[:SCALe]:RLEVel<ReferenceLevel>`

Αυτή η εντολή καθορίζει το επίπεδο αναφοράς.

Με ένα επίπεδο αναφοράς συμψηφισμού  $\neq 0$ , το εύρος τιμών του επιπέδου αναφοράς τροποποιείται από τον συμψηφισμό.

**Παράμετρος:** `<ReferenceLevel>`

Αριθμητική τιμή που καθορίζει το επίπεδο αναφοράς. Η μονάδα εξαρτάται από το `UNIT:POWer`. Το διαθέσιμο εύρος τιμών καθορίζεται στο δελτίο δεδομένων.

**Παράδειγμα:**

`DISP:TRAC:Y:RLEV -60dBm`

Θέτει το επίπεδο αναφοράς στο -60 dBm.

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή `*RST`: -20dBm

SCPI: conform

:INSTrument:NSElect<OperatingMode>

Αυτή η εντολή επιλέγει τον τρόπο λειτουργίας.

**Παράμετρος:** <OperatingMode>

- 1 Spectrum Analyzer
- 2 Network Analyzer
- 4 Distance-to-fault
- 5 Power Meter
- 7 Digital Modulation: WCDMA
- 8 Digital Modulation: CDMA2000
- 9 Digital Modulation: 1xEV-DO
- 10 Digital Modulation: LTE FDD
- 11 Digital Modulation: LTE TDD
- 12 Digital Modulation: TD-SCDMA
- 15 Digital Modulation: GSM
- 16 Interference Analyzer
- 17 Geotagging

**Παράδειγμα:**

INST:NSEL 1

Επιλέγει Spectrum Analyzer Mode (λειτουργία αναλυτή φάσματος)

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: 4

SCPI: conform

:INSTrument[:SElect]<OperatingMode>

Αυτή η εντολή επιλέγει τον τρόπο λειτουργίας.

**Παράμετρος:**<OperatingMode>

DTF	Distance-to-fault
GEOTagging	geotagging
IANalyzer	Interference Analyzer
NAN	Network Analyzer
PM	Power Meter
RECeiver	Receiver
SANalyzer	Spectrum Analyzer
GSM	Digital Modulation: GSM
BTDScdma	Digital Modulation: TD-SCDMA
BWCDpower	Digital Modulation: WCDMA
C2K	Digital Modulation: CDMS2000
BDO	Digital Modulation: 1xEV-DO
LTEFdd	Digital Modulation: LTE FDD
LTETdd	Digital Modulation: LTE TDD

**Παράδειγμα:**

INSTSAN

Επιλέγει Spectrum Analyzer Mode (λειτουργία αναλυτή φάσματος)

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: ACT

SCPI: conform

**:INPut:ATTenuation<Attenuation>**

Αυτή η εντολή καθορίζει την εξασθένηση εισροών (input attenuation).

Σε λειτουργία φάσματος (spectrum mode), η εξασθένηση συνδυάζεται στο επίπεδο αναφοράς. Στον αναλυτή μας αν τεθεί ξεχωριστά η εξασθένηση ακυρώνεται ο συνδυασμός.

**Παράμετρος:<Attenuation>**

Αριθμητική τιμή στην περιοχή από 0dB έως 40dB με βήμα 5dB.

**Παράδειγμα:**

INP:ATT 30dB

Καθορίζει μια εξασθένηση των 30dB και απενεργοποιεί τη σύζευξη με το επίπεδο αναφοράς.

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: 0 dB (AUTO είναι ενεργό)

SCPI: conform



## ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται όλες οι εντολές που ορίζουν ή ερωτούν γενικές ρυθμίσεις συστήματος.

- ❖ :SYSTem:DATE
- ❖ :SYSTem:ERRor:ALL?
- ❖ :SYSTem:TIME

**:SYSTem:DATE<Date>**

Αυτή η εντολή θέτει την ημερομηνία στο εσωτερικό ημερολόγιο του αναλυτή.

**Παράμετρος:<Date>**

Αριθμητική τιμή που υποδεικνύει την ημερομηνία. Οι τιμές της ημερομηνίας πρέπει να εισαχθούν χωρισμένες με κόμμα μετά την συμβολοσειρά του ονόματος αρχείου. Η ακολουθία της ημερομηνίας είναι: Χρόνος, μήνας, ημέρα

Το διαθέσιμο εύρος τιμών είναι: 1980 – 2099, 1 – 12, 1 – 31

**Παράδειγμα:**

RST:DATE 2000,6,1

Θέτει την ημερομηνία: 1/6/2000

Χαρακτηριστικά:

Τιμή \*RST: -

SCPI: conform

**:SYSTem:ERRor:ALL?**

Αυτή η εντολή ερωτά ολόκληρη την ουρά λάθους.

Είναι ερώτημα και ως εκ τούτου όχι τιμή \*RST.

**Τιμή επιστροφής:** <error number>, <error description>

<errornumber> Ένας αριθμός που περιέχει  
πληροφορίες για το σφάλμα

- Αρνητικός αριθμός: Σφάλμα όπως ορίζεται στο SCPI στάνταρ.
- Θετικός αριθμός: Σφάλμα που είναι συγκεκριμένο στον αναλυτή

<errordescription> Μια συμβολοσειρά που περιέχει  
σύνομη περιγραφή του σφάλματος

Ο αριθμός των τιμών εξαρτάται από το μήκος της ουράς.

Εάν η ουρά λάθους είναι άδεια, η εντολή επιστρέφει 0, 'noerror'.

**Παράδειγμα:**

SYST:ERR:ALL?

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: -

SCPI: device-specific

:SYSTem:TIME<Time>

Αυτή η εντολή ορίζει το εσωτερικό ρολόι του αναλυτή.

**Παράμετρος:**<Time>

Αριθμητική τιμή που υποδηλώνει τον χρόνο.

Οι τιμές του χρόνου πρέπει να εισαχθούν χωρισμένες με κόμμα μετά την συμβολοσειρά του ονόματος αρχείου. Η ακολουθία του χρόνου είναι: Ώρες, λεπτά, δευτερόλεπτα

Το διαθέσιμο εύρος τιμών είναι: 0 - 23, 0 – 59, 0 – 59

**Παράδειγμα:**

SYST:TIME: 12,30,30

Θέτει την ώρα: 12:30 και 30''

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: -

SCPI: conform

## ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ ΤΟ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ

Οι ακόλουθες εντολές ρυθμίζουν το εύρος ζώνης του φίλτρου του αναλυτή. Σημειωτέο πως τα γκρουπ εντολών (BANDwidth και BWIDth) είναι τα ίδια.

- ❖ [[:SENSe]:BWIDth:VIDeo
- ❖ [[:SENSe]:BWIDth[:RESolution]

[.:SENSe]:BWIDth:VIDeo<VideoBW>

Η εντολή αυτή ορίζει το εύρος ζώνης του βίντεο (video bandwidth)

**Παράμετρος:**<VideoBW>

Αριθμητική τιμή μετρούμενη σε Hz.

Το διαθέσιμο εύρος τιμών είναι από 1Hz έως 3MHz με βήμα 1 - 3

**Παράδειγμα:**

BAND:VID 10 kHz

Θέτει το εύρος ζώνης του βίντεο (video bandwidth) στα 10kHz.

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: - (Η τιμή AUTO είναι ενεργοποιημένη (ON)).

SCPI: conform

[[:SENSe]:BWIDth[:RESolution]<ResBW>

Η εντολή αυτή ορίζει το εύρος ζώνης της ανάλυσης (resolution bandwidth).

**Παράμετρος:**<ResBW>

Αριθμητική τιμή μετρούμενη σε Hz.

Το διαθέσιμο εύρος τιμών είναι από 1Hz έως 3MHz με βήμα 1 - 3-5. Επιπροσθέτως μπορεί να επιλεγθεί εύρος ζώνης των 200 kHz.

**Παράδειγμα:**

BAND 100 kHz

Θέτει την το εύρος ζώνης της ανάλυσης (resolution bandwidth) στα 100kHz.

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: - (Η τιμή AUTO είναι ενεργοποιημένη (ON)).

SCPI: conform

## ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ

Οι ακόλουθες εντολές ρυθμίζουν τον κατακόρυφο άξονα της ενεργής οθόνης.

- ❖ [:SENSe]:FREQuency:CENTer
- ❖ [:SENSe]:FREQuency:SPAN
- ❖ [:SENSe]:FREQuency:STARt
- ❖ [:SENSe]:FREQuency:STOP

[[:SENSe]:FREQuency:CENTer<Frequency>

Η εντολή αυτή ορίζει την κεντρική συχνότητα του αναλυτή.

Σε φασματική λειτουργία του αναλυτή, η εντολή επίσης ορίζει την συχνότητα μέτρησης για καθορισμένο χρόνο μετρήσεων (span=0).

**Παράμετρος:**<Frequency>

Αριθμητική εντολή σε Hz.

Το εύρος εξαρτάται από το τρόπο λειτουργίας και καθορίζεται στο φύλλο δεδομένων.

**Παράδειγμα:**

FREQ:CENT 100MHz

Ορίζει την κεντρική συχνότητα στα 100MHz.

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST:  $f_{max}/2$  όπου  $f_{max}$ = μέγιστη συχνότητα

SCPI: conform



[[:SENSe]:FREQuency:SPAN<Span>

Αυτή η εντολή ορίζει την συχνοτική διάρκεια.

Εάν τεθεί μια διάρκεια των 0 Hz στην φασματική λειτουργία, ο αναλυτής ξεκινά μία μέτρηση στο πεδίο του χρόνου.

**Παράμετροι:**<Span>

Αριθμητική τιμή σε Hz. Το εύρος τιμών καθορίζεται στο φύλλο δεδομένων.

**Παράδειγμα:**

FREQ:SPAN 10MHz

Ορίζει ένα διάστημα των 10 Mhz.

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST:  $f_{max}$  όπου  $f_{max}$ = μέγιστη συχνότητα

SCPI: conform

[[:SENSe]:FREQuency:STARt<StartFrequency>

Η εντολή αυτή καθορίζει την συχνότητα εκκίνησης για τις μετρήσεις στο πεδίο των συχνοτήτων. ( διάρκεια(span) >0)

**Παράμετροι:**<StartFrequency>

Αριθμητική τιμή σε Hz.

Το εύρος κάλυψης εξαρτάται από την κατάσταση λειτουργίας και προσδιορίζεται στο φύλλο δεδομένων.

**Παράδειγμα:**

FREQ:STAR 20MHz

Ορίζει μια αρχική συχνότητα στα 20 Mhz.

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: 0

SCPI: conform

[[:SENSe]:FREQuency:STOP<StopFrequency>

Η εντολή αυτή καθορίζει την συχνότητα διακοπής για μετρήσεις στο πεδίο συχνοτήτων (διάστημα(span)> 0)

**Παράμετροι:**<StopFrequency>

Αριθμητική τιμή σε Hz.

Το εύρος κάλυψης εξαρτάται από την κατάσταση λειτουργίας και προσδιορίζεται στο φύλλο δεδομένων.

**Παράδειγμα:**

FREQ:STOP 2000MHz

Ορίζει μια συχνότητα διακοπής στα 2 GHz

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST:  $f_{max}$

SCPI: conform

## ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι ακόλουθες εντολές ρυθμίζουν την σάρωση.

- ❖ :INITiate:CONTinuous
- ❖ :INITiate[:IMMediate]
- ❖ [:SENSe]:SWEep:COUNT
- ❖ [:SENSe]:SWEep:POINts?
- ❖ [:SENSe]:SWEep:TIME

:INITiate:CONTinuous<SweepMode>

Αυτή η εντολή επιλέγει την λειτουργία σάρωσης

**Παράμετρος:**<SweepMode>

ON Συνεχόμενη σάρωση

OFF Μονή σάρωση

**Παράδειγμα:**

INIT:CONT:OFF

Επιλέγει την μονή λειτουργία σάρωσης.

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: ON

SCPI: conform

:INITiate[:IMMediate]

Αυτή η εντολή ξεκινά μια νέα ακολουθία μετρήσεων.

Με αριθμό σαρώσεων >0 ή μέσο αριθμό σαρώσεων >0, γίνεται μια επανεκκίνηση ενδεδειγμένου αριθμού μετρήσεων. Με συναρτήσεις ίχνους (trace) MAXHold, MINHold, και AVERage, τα προηγούμενα αποτελέσματα έχουν επαναφερθεί για την επανεκκίνηση της μέτρησης.

Στην μονή λειτουργία σάρωσης (singlesweepmode), ο συγχρονισμός στο τέλος των ενδεδειγμένων αριθμών των μετρήσεων μπορεί να επιτευχθεί με την εντολή \*OPC, \*OPC? ή \*WAI. Σε λειτουργία συνεχόμενης σάρωσης (continuous sweep mode), ο συγχρονισμός στο τέλος της σάρωσης δεν είναι δυνατός εφόσον η συνολική μέτρηση δεν τελειώνει ποτέ. Αυτή η εντολή είναι event και έτσι δεν έχει ούτε ερώτημα (query) ούτε \*RST τιμή.

#### Παράδειγμα:

```
INIT:CONT OFF
```

```
DISP:WIND:TRAC:MODE AVER
```

Ενεργοποιεί την μονή λειτουργία σάρωσης και τον εντοπισμό του μέσου.

```
INIT;*WAI
```

Ξεκινάει την μέτρηση και περιμένει το τέλος της σάρωσης.

#### Χαρακτηριστικά:

Τιμή \*RST: –

SCPI: conform

[.:SENSe]:SWEep:COUNt<SweepCount>

Αυτή η εντολή καθορίζει τον αριθμό των σαρώσεων του αναλυτή που περιλαμβάνονται σε μία ενιαία σάρωση. Επίσης ορίζει τον αριθμό των επαναλήψεων που χρησιμοποιεί ο αναλυτής για να μετριάσει τα ίχνη(traces) ή να υπολογίσει μέγιστες τιμές.

Ο αναλυτής εκτελεί μία σάρωση(Sweep) όταν ο μετρητής των σαρώσεων έχει τιμή 0 ή 1.

**Παράμετρος:**<SweepCount>

0 έως 999

**Παράδειγμα:**

SWE:COUN 64

Ορίζει ένα μετρητή σαρώσεων για 64 σαρώσεις

INIT:CONT OFF

INIT;\*WAI

Ενεργοποιεί την λειτουργία μονής σάρωσης , αρχίζει την σάρωση και περιμένει για το τέλος της.

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: 1

SCPI: conform

[.:SENSe]:SWEep:POINts?

Αυτή η εντολή ζητά τον αριθμό των σημείων μέτρησης σε μια μονή σάρωση.

Η εντολή αυτή είναι ερώτημα και ως εκ τούτου δεν μπορεί να έχει \*RST τιμή.

**Τιμή επιστροφής:**

Ο αριθμός των σημείων σάρωσης

**Παράδειγμα:**

SWE:POIN?

Επιστρέφει τον αριθμό των σημείων σάρωσης

**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: –

SCPI: conform



[[:SENSe]:SWEep:TIME<SweepTime>

Αυτή η εντολή ορίζει τον χρόνο σάρωσης.

Εάν τεθεί χρόνος σάρωσης σε μια φασματική λειτουργία με αυτή την εντολή, ο αναλυτής κάνει διαχωρισμό του χρόνου σάρωσης (sweep time) από την διάρκεια (span) και την ανάλυση (resolution) και το εύρος του βίντεο (video bandwidth).

**Παράμετροι:** <SweepTime>

Αριθμητική τιμή σε δευτερόλεπτα.

Το διαθέσιμο εύρος τιμών καθορίζεται στο φύλλο δεδομένων.

**Παράδειγμα:**

SWE:TIME 10s

Θέσε τον χρόνο σάρωσης στα 10 δευτερόλεπτα.

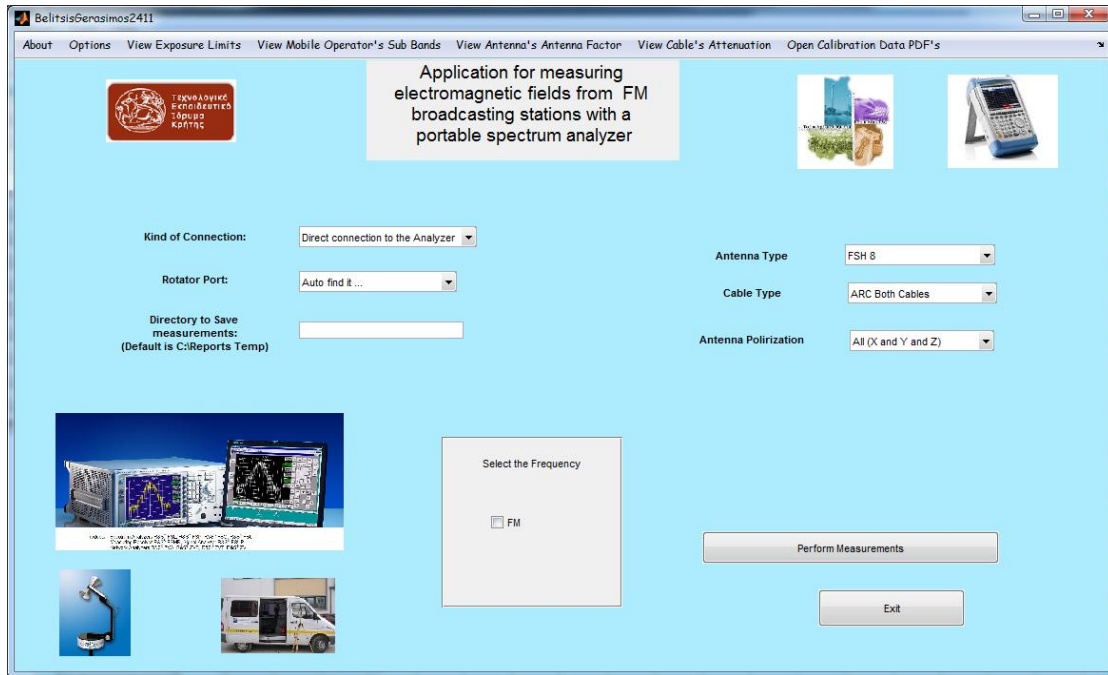
**Χαρακτηριστικά:**

Τιμή \*RST: - (AUTO είναι ενεργοποιημένο (ON))

SCPI: conform

## 9. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΣΤΑΘΜΟΥΣ FM

Για το σκοπό της πτυχιακής αναπτύχθηκε εφαρμογή μετρήσεων σταθμών FM σε λογισμικό Matlab. Το γραφικό περιβάλλον του χρήστη (GUI) της εφαρμογής εικονίζεται στο παρακάτω σχήμα

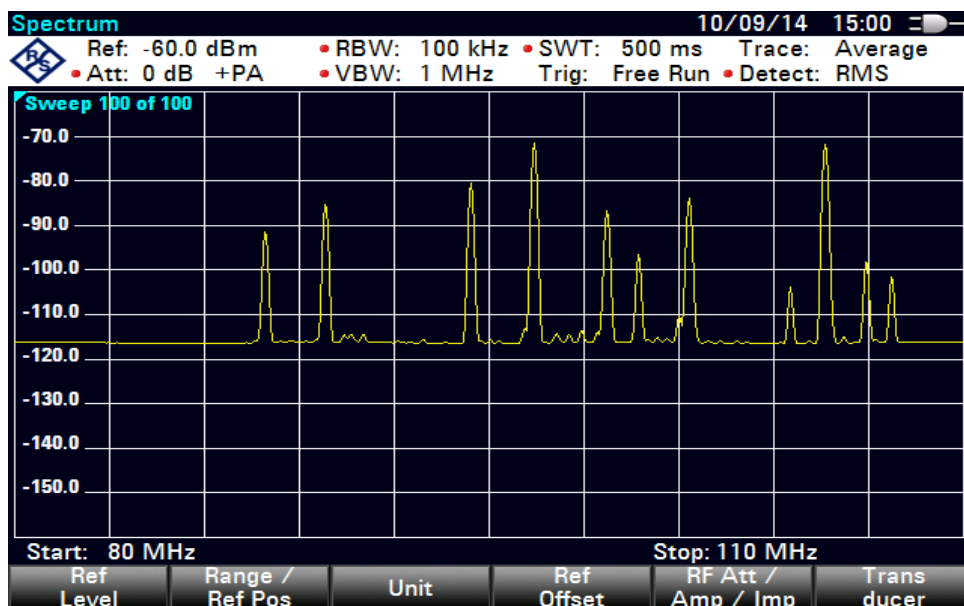


Με τη βοήθεια της παραπάνω εφαρμογής πάρθηκαν μετρήσεις σταθμών FM στο χώρο του ΤΕΙ Κρήτης στο Ηράκλειο. Εικόνες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων αυτών εικονίζονται παρακάτω:

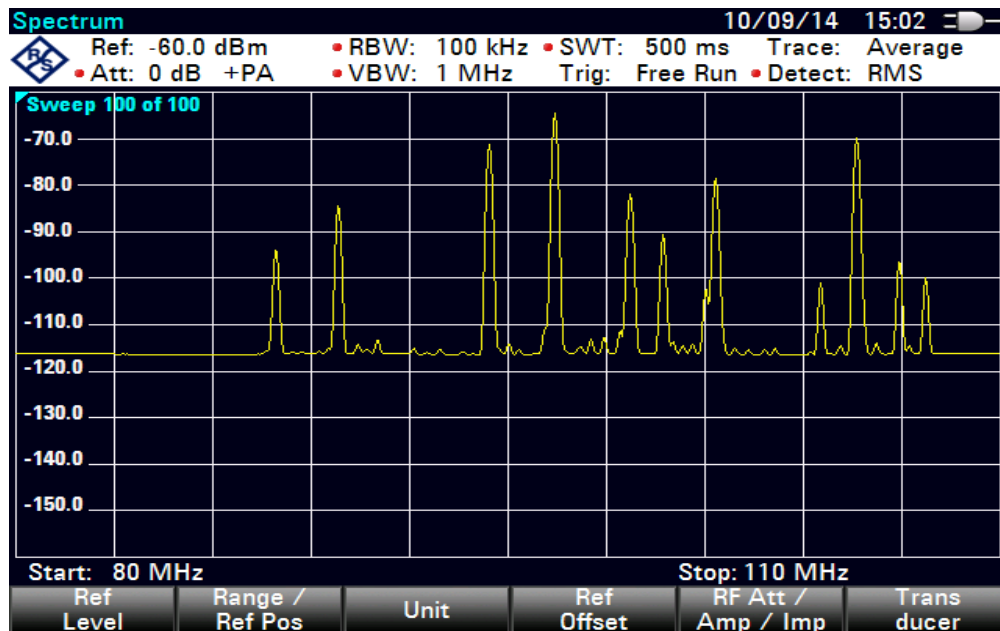




Τα αντίστοιχα φασματογραφήματα από την οθόνη του αναλυτή φάσματος παρουσιάζονται παρακάτω:



Οθόνη του αναλυτή φάσματος κατά την μέτρηση στην Χ κατεύθυνση της κεραίας λήψης



Οθόνη του αναλυτή φάσματος κατά την μέτρηση στην Υ κατεύθυνση της κεραίας λήψης



Οθόνη του αναλυτή φάσματος κατά την μέτρηση στην Υ κατεύθυνση της κεραίας λήψης

## 10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. [Christie Brown], «**Spectrum Analysis Basics**», Hewlett-Packard Company.
2. [1999 European SCPI Consortium], «**Standard Commands for Programmable Instruments (SCPI) VERSION 1999**», May, 1999.
3. [ESA Series Spectrum Analyzers], «**User's/Programmer's Reference**», Agilent Technologies March 2003.
4. Using MATLAB for Remote Control and Data Capture with R&S Spectrum and Network Analyzers, Munchen 2014.
5. R&S®FSH4/8 Spectrum Analyzer Operating Manual.
6. [http://www.mathworks.com/index.html?s\\_cid=pl\\_homepage](http://www.mathworks.com/index.html?s_cid=pl_homepage)
7. <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/instrument/>
8. Graphics and GUIs with MATLAB® THIRD EDITION, PATRICK MARCHAND, O . THOMAS HOLLAND, CRC Press Company, Boca Raton London New York Washington, D.C., 2003.
9. Introduction to Graphical User Interface (GUI) MATLAB 6.5, Presented By: Refaat Yousef Al Ashi & Ahmed Al Ameri.
10. Chapman, Stephen J., MATLAB Programming for Engineers, Brooks Cole, 2001.