

155095

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SPEKTRUM ANALİZÖRLER VE KALİBRASYON
YÖNTEMLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elo. Hab. Müh. Osman Ozan FİLİZ

Anabilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Danışman : Yrd.Doç.Dr. Sıtkı ÖZTÜRK

Haziran 2004

**SPEKTRUM ANALİZÖRLER VE KALİBRASYON
YÖNTEMLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elo. Hab. Müh. Osman Ozan FİLİZ

155095

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Haziran 2004

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Temmuz 2004

Tez Danışmanı

Yrd.Doç.Dr. Sıtkı ÖZTÜRK



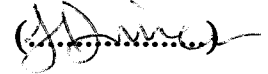
Üye

Prof.Dr. Osman ÇEREZCİ



Üye

Prof.Dr. Hasan DİNÇER



SPEKTRUM ANALİZÖRLER VE KALİBRASYON YÖNTEMLERİ

Osman Ozan FİLİZ

Anahtar Kelimeler: Spektrum analizör, kalibrasyon, ölçme, metroloji, frekans

Özet: Bu tez çalışmasında, spektrum analizörlerin temel çalışma prensipleri; cihazın ölçüm doğruluğu ve ölçüm hızını etkileyen dahili/harici (ölçüm yöntemi kaynaklı) nedenleri ve bunların iyileştirme yöntemlerini; yeni nesil haberleşme sistemlerine uygun gelişmiş spektrum analizörlerin çalışma yapılarını; spektrum analizörlerin kalibrasyonlarında dikkat edilmesi gereken hususları inceledim. Örnek bir kalibrasyon prosedürü uygulanması ve sonuçların değerlendirilmesini gerçekleştirdim. Çıkan ölçüm sonuçları cihazın doğruluğunun kullanım alanı için yeterli olduğunu belirtmektedir. Yapılan bu çalışma spektrum analizör kullanımı ve kalibrasyonu konusunda uygulama yapan kişi ve kuruluşlara programlı bir eğitim olarak verilmek üzere kullanılacaktır. Ayrıca görev aldığım kalibrasyon laboratuvarında teknik eğitim olarak ilgili personele sunum için hazırlanacaktır.

SPECTRUM ANALYZERS AND CALIBRATION METHODS

Osman Ozan FİLİZ

Keywords : Spectrum analyzer, calibration, measurement, metrology, frequency

Abstract: In this study, basic operating principles of spectrum analyzers, external/internal reasons (measurement method based) that affect measurement accuracy and measurement speed and improvement methods, operating structures of improved spectrum analyzers that are compatible with new generation communication systems, and subjects to pay attention in calibrating these analyzers are studied. A model calibration procedure is performed and results are examined. The outcomes show that the correctness of the device is adequate in its study range. This work will be used as a guide of training for people and foundations that practice on usage and calibration of spectrum analyzers. This work will also be presented as technical training for the personnel who study in the calibration laboratory that I work.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Frekans tabanlı haberleşme ve iletişim sistemlerinin, kablolu ve kablosuz ortamlarda yaygın kullanımı ile birlikte; bu sistemlerin üretim, teknik servis ve işletiminde yoğun kullanım alanı bulan spektrum analizörler ve kalibrasyonları önem kazanmıştır. Ülkemizde Ulusal Metroloji Enstitüsü(UME)'nin sağladığı referanslar ile endüstriyel kalibrasyon hizmeti veren kalibrasyon laboratuvarlarında, elektriksel ve elektronik kalibrasyonlar yaygın olarak gerçekleştirilmektedir. Ancak RF frekans aralıklarında ölçüm ve kalibrasyon hizmeti, pahalı altyapı gereklilikleri başta olmak üzere, kalibrasyon talebinin diğer ölçüm cihazları gruplarına göre sınırlı olması, cihazlara ait kalibrasyon prosedürleri ve servis dökümanlarına ulaşımın zorluğu gibi nedenlerden dolayı ülkemizde özel sektördeki bazı büyük firmalara ait laboratuvarlar(SIEMENS/SİMKAL, ALCATEL/ANEL, TSE, ESDAŞ gibi) dışında gerçekleştirilememektedir. RF ölçüm cihazlarına kalibrasyon hizmeti veren bu laboratuvarlardan bu çalışmanın gerçekleştirildiği tarih itibarı ile, TSE ve görev aldığım SİMKAL Kalibrasyon Merkezi dışında Türk Akreditasyon Kurumu(TÜRKAK) tarafından TS EN 17025 normuna göre akredite edilmiş kalibrasyon laboratuvarı bulunmamaktadır. Ülkemizde spektrum analizörler ve diğer yüksek frekans tabanlı ölçüm cihazlarının endüstriyel kalibrasyon olanaklarının gelişmesi, dolaylı olarak hem ülkemizin gelişimi sağlayacak, hemde teknoloji ve bilgi birikimi bazında dışa bağımlılığımızı bu alanda azaltacaktır.

Bu tez çalışmasında, spektrum analizörlerin temel çalışma prensiplerini; cihazın ölçüm doğruluğu ve ölçüm hızını etkileyen dahili/harici (ölçüm yöntemi kaynaklı) nedenleri ve bunların iyileştirme yöntemlerini; yeni nesil haberleşme sistemlerine uygun gelişmiş spektrum analizörlerin çalışma yapılarını; spektrum analizörlerin kalibrasyonlarında dikkat edilmesi gereken hususları; örnek bir çalışma olarak halen görev aldığım endüstriyel kalibrasyon hizmeti veren SİMKAL Kalibrasyon Merkezi'nde gerçekleştirdiğim, bir spektrum analizör cihazının kalibrasyon prosedürlerinin uygulanması ile sertifikasyonunun gerçekleştirilmesini incelenmiştir.

Bu çalışma ile, endüstriyel kalibrasyon hizmetlerinin bilimsel gelişim ve araştırmalar çerçevesinde iyileştirilmesi; ölçüm ve metroloji konularında çalışanların cihaz ve ölçüm metodu açılarından yetkinliklerinin artırılması hedeflenmiştir. Yapılan araştırma ve yöntem uygulama sonuçları, kalibrasyon merkezimizdeki RF kalibrasyonlar alanında çalışan personele ve isteğe bağlı olarak bu alanda bilgi seviyelerini arttırmak isteyen tüm çalışanlara planlı bir eğitim şeklinde sunulması amaçlanmıştır.

Oluşturulan bu çalışmada kullanılan teknik terimlerin, mümkün oluğu kadarı ile türkçe karşılıklarını kullanılmaya özen gösterilmiştir.. Bunun için TSE'nin "TS IEC 714" numaralı "Spektrum Analizörüne ait Özelliklerin Tayini" adlı standardından faydalanılmıştır. Türkçede kullanılan tam karşılıklarına ulaşılamayan terimler orjinal halleri ile kullanılmıştır.

Çalışmalarına ışık tutan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili hocam, tez danışmanım sayın Yrd.Doç.Dr. Sıtkı ÖZTÜRK'e; bana bu alanda uzmanlaşmam konusunda destek ve imkan sağlayan yöneticim, sayın Hanife URAL'a ve onun nezinde tüm SİMKAL Kalibrasyon Merkezi çalışanlarına; tezin yazımı ve düzenlenmesi aşamasında destek veren İlker KARADAĞ, Derya CESUR, Serdar SEVİNÇ'e; örnek aldığım ve beni yüreklendiren babam Fevzi Sefer FİLİZ'e; yaşamımı aydınlatan ve sevgimin tek sahibi İlknur KARADAĞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmamı hayatımın en değerli çiçeğine ithaf ediyorum.

Annem, Yurdağül FİLİZ'e.

Huzur içinde yat.....

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	V
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR.....	X
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XI
TABLolar LİSTESİ.....	XIV
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. SPEKTRUM ANALİZÖRLER.....	3
2.1. Spektrum Analizörlerin Çalışma Aralıkları.....	3
2.2. Ayrık Fourier Dönüşümü.....	3
2.3. Heterodyne Prensibi.....	6
2.3.1. Heterodyne Prensibine göre Çalışan Spektrum Analizörlerin Çalışma yapısı.....	6
2.4. Temel Ayarlama Parametreleri.....	8
2.4.1. Frekans görüntüleme aralığı (Etkin frekans aralığı).....	8
2.4.2. Frekans bandı.....	8
2.4.3. Seviye görüntüleme aralığı.....	8
2.4.4. Frekans çözünürlüğü.....	9
2.4.5. Süpürme zamanı (Sweep time).....	9
2.4.6. Analog çözünürlük filtresi.....	10
2.4.7. Sayısal çözünürlük filtresi.....	10
2.4.8. Giriş empedansı.....	11
2.5. Heterodyne Prensibi ile Çalışan Spektrum Analizörün Gerçeklenmesi.....	12
2.5.1. RF Giriş bölümü.....	12
2.5.1.1. DC Bileşene Sahip İşaretlerin Ölçümü.....	16
2.5.2. IF İşaret işleme.....	17
2.5.2.1. IF Filtresinin gürültü bant genişliği.....	17
2.5.3. IF Filtreler.....	17
2.5.3.1. Analog IF filtreler.....	18
2.5.3.2. Sayısal filtreler.....	18

2.5.3.3. FFT	18
2.5.4. Karıştırıcı.....	20
2.5.4.1. Çözünürlük filtresi aracılığı ile IF işaret işleme.....	20
2.5.5. Dedektörler.....	23
2.5.5.1. Maksimum tepe dedektörleri.....	24
2.5.5.2. Otomatik tepe dedektörleri.....	24
2.5.5.3. Örnekleme dedektörü.....	25
2.5.5.4. RMS dedektörü.....	25
2.5.5.5. Ortalama değer (AV) dedektörü.....	25
2.5.5.6. Yarı-Tepe(Quasi Peak) dedektörü.....	26
2.5.5.1.1 Değişik türdeki giriş işaretlerinin görüntülenmesi ve genlik faktörü.....	26
2.5.6. Zarf dedektörü.....	27
2.5.7. Video gerilimi ve video filtreleri.....	28
2.6. İşaret İzinin İşlenmesi.....	32
2.6.1. Çeşitli ölçümler üzerinden ortalama alınması.....	32
2.6.2. Video filtreleme.....	33
2.6.3. Video ortalaması.....	34
2.7. Marker (İşaretçi) Fonksiyonları.....	37
2.8. Tolerans Maskeleri (limit çizgileri).....	38
2.9. Parametre Bağımlılıkları.....	38
2.10 Aşırı Yükleme.....	41

BÖLÜM 3. SPEKTRUM ANALİZÖRLERİN PERFORMANS

ÖZELLİKLERİ.....	42
3.1. Doğal Gürültü (Inherent Noise).....	42
3.2. Maksimum Duyarlılık.....	48
3.3. Doğrusallık Dışı Davranışlar (Nonlinearities).....	48
3.4. İntermodülasyon Bileşenlerinin Tanımı.....	49
3.5. Frekans Doğruluğu.....	51
3.6. Seviye Ölçümü Doğruluğu.....	52
3.7. Bant Genişliği Değiştirme Hatası.....	53

3.7.1. Bant genişliği hatalarının etkileri.....	53
3.8. Empedans Uyumsuzluğuna Bağlı Hata.....	53
3.9. Faz Gürültüsü Ölçümü.....	55
3.9.1. Ölçüm prosedürü.....	55
3.10. Çözünürlük Bant Genişliği Seçimi.....	57
BÖLÜM 4. SPEKTRUM ANALİZÖRLERDE GENLİK	
DOĞRULUĞUNUN ARTTIRILMASI.....	59
4.1. Mutlak ve Bağlı Ölçümler.....	59
4.2. Ölçüm Belirsizliğine Etki Eden Faktörler (Belirsizlik Kaynakları).....	60
4.2.1. Bağlı genlik belirsizliği faktörleri.....	61
4.2.1.1. Frekans yanıtı (flatness).....	61
4.2.1.2. Bant değiştirme.....	62
4.2.1.3. Ölçek kademe doğruluğu (Scale Fidelity).....	62
4.2.1.4. Referans seviye (IF kazancı).....	63
4.2.1.5 Giriş zayıflatıcısı değişimi.....	63
4.2.1.6. Bant genişliği çözünürlüğü değiştirmek.....	64
4.2.1.7. Görüntüleme ölçeklendirilmesi değişimi.....	64
4.2.1.8. Empedans uyumsuzluğu.....	64
4.2.2. Mutlak genlik belirsizliği faktörleri.....	64
4.2.2.1. Frekans yanıtı	64
4.2.2.2. Kalibratör.....	65
4.3. Toplam Belirsizliğin Hesaplanması.....	65
4.3.1. Frekans bandı içindeki bağlı ölçüm (Delta Marker).....	65
4.3.2. Bağlı ölçüm (Delta Marker) iki veya daha fazla bant üzerinde belirsizlik.....	66
4.3.3. Mutlak ölçüm (Tek marker ile).....	67
4.4. Hatalar.....	68
4.4.1. Toplam genlik doğruluğu.....	68
4.5. Toplam ölçüm belirsizliğinin azaltılması.....	68
4.5.1. Kontrol değişikliklerinin minimize edilmesi.....	68
4.5.2. Ölçek doğruluğundan IF kazancının çıkarılması.....	69
4.5.3. Self – kalibrasyon.....	69

4.5.4. Genlik doğrulama (Ampcor).....	69
4.5.5. Görüntüleme duyarlılığı.....	70
4.5.6. Ön yükseltme	71
4.5.7. Bağlantı uygunsuzluğunun azaltılması	71

BÖLÜM 5. SPEKTRUM ANALİZÖRÜN ÖLÇÜM HIZINI

ETKİLEYEN ETMENLER.....	73
5.1. İşleme Süresi.....	73
5.2. Giriş/Çıkış Trafığı İçin Geçen Zaman.....	73
5.3. Süpürme Zamanı.....	73
5.4. Çözünürlük bant genişliği filtresinin seçimi.....	74
5.5. Çalışma Modları.....	76
5.5.1. Tek başına çalışma modu	76
5.5.2. Uzaktan çalışma modu.....	76

BÖLÜM 6. SPEKTRUM ANALİZÖRLERDE ÖLÇÜM SONUÇLARINI

İYİLEŞTİRİCİ YÖNTEMLER	77
6.1. Genlik Doğrulaması İle Genlik Ölçümlerinin İyileştirilmesi.....	77
6.2. Düşük Genlik Seviyeli İşaretlerin Ölçümü.....	79
6.3. Dahili Gürültü Bileşenlerinin Tanımlanması.....	81
6.4. En İyi Görüntü Algılama Modunun Seçimi.....	82
6.5. Taşma (Burst) İşaretlerinin Ölçümü; Zaman Geçitli Spektrum Analiz.....	83
6.6. Sıfır Ölçüm Aralığı (Zero Span) ve FFT kullanılarak Genlik Modülasyonu Ölçümleri.....	84

BÖLÜM 7. ÖLÇME VE KALİBRASYON.....

7.1 Metroloji ve Kalibrasyon ile İlgili Tanımlar.....	88
7.1.1. Uluslararası birimler sistemi, SI.....	88
7.1.2. Ölçüm prosedürü.....	88
7.1.3. İzlenebilirlik.....	88
7.1.4. Ölçüm belirsizliği.....	88
7.1.5 Standart sapma.....	89
7.1.6 Gauss dağılımı.....	89

BÖLÜM 8. ÖRNEK BİR KALİBRASYON PROSÜDÜRÜ VE UYGULAMASI

8.1. 10MHz Referans Osilatör Çıkışı Doğruluğu.....	91
8.2. 10 MHz Frekans Çıkış Doğruluğu.....	92

8.3. Frekans Okuma ve Marker Doğruluğu.....	94
8.3.1. Frekans okuma doğruluğu.....	95
8.3.1.1. Frekans okuma doğruluğu (opsiyonel adım, option130).....	96
8.3.2. Marker okuma doğruluğu.....	96
8.3.2.1. Marker okuma doğruluğu (opsiyonel adım, option130).....	97
8.4. Yan Bantların Gürültüsü	97
8.4.1. 10kHz'deki Yan bant gürültüsü.....	97
8.5 Sistem ve Yan Bant fark değerleri (System Related Sidebands).....	100
8.6. Frekans Aralığı Ölçüm Doğruluğu.....	102
8.6.1 1800MHz Frekans aralığı okuma doğruluğu.....	102
8.6.2. 10.1MHz'den 10kHz'e Frekans aralığı okuma doğruluğu.....	103
8.7. Artık FM (Residual FM).....	104
8.8. Süpürme Zamanı Doğruluğu.....	107
8.9. Ölçekleme Uygunluğu.....	109
8.9.1. Logaritmik skala.....	109
8.9.2. Lineer skala.....	110
8.9.3. Logaritmik skaladan lineer skalaya geçiş.....	111
8.10 Referans Seviye Doğruluğu.....	114
8.10.1. Logaritmik skala.....	114
8.10.2. Lineer skala.....	115
8.11. Mutlak Genlik Kalibrasyonu ve Çözünürlük Bant Genişliği Değişimi Belirsizliği.....	118
8.11.1 Mutlak genlik belirsizliği.....	118
8.11.2. Çözünürlük bant genişliği belirsizliği.....	119
BÖLÜM 9. SONUÇLAR.....	121
KAYNAKLAR.....	123
EKLER.....	124
ÖZGEÇMİŞ.....	133

SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

ΔL_r	Empedans uyumsuzluğa bağlı seviye hatası
ΔL_{RBW}	Bant genişliği hatasına bağlı olarak oluşan seviye hatası
Δ_{RBW}	Bant genişliği hatası
ΔL_{DAN}	Değişen IF bant genişliğinin bir fonksiyonu olarak gürültü değişimi
A_{avg}	Ortalama değer
A_n	Süpürme değeri
a_r	Geri dönüşüm kaybı
a_{IMn}	Sıra intermodülasyon bileşeni ile giriş işaretleri arası seviye farklılıkları
B	IF işaretinin bant genişliği
B_{IF}	Ara frekans bant genişliği
B_N	Gürültü bant genişliği,
$B_{N,IF,1}, B_{N,IF,2}$	Ayarlamadan önce ve sonra IF filtresinin gürültü bant genişliği
CF	Merkez frekans
CF	Genlik(crest) Faktörü
DFT	Ayrık fourier dönüşümü
DSP	Sayısal işaret işleyiciler
$F_i =$	Bağımsız bölümlerin gürültü faktörü
$f(k)$	Ayrık frekans bileşenleri
f_0	İşaret frekansı
f_{IF}	ara frekans
f_s	Örnekleme oranı,
g	Sistemin güç kazancı
$G_i =$	Bağımsız bölümlerin kazancı
G_V	Sistemin kazancı
$H_V(f)$	Gerilim transfer fonksiyonu
$H_{V,0}$	Gerilim transfer fonksiyonunun bandın merkezindeki değeri
IF	Ara Frekans
IPn_{in}	n. derece giriş kesme noktası
k	Oransallık faktörü
k	Boltzmann sabiti
$L(f_{off})$	Bağıl faz gürültü seviyesi
L_c	Taşıyıcı genlik seviyesi
LO	Lokal osilatör
L_{in}	2. giriş işaretleri düzeyi
L_{DAN}	Görüntülenen ortalama gürültü seviyesi
$L_{pn}(f_{off})$	Faz gürültü seviyesi
M_u	Ölçüm belirsizliği, % olarak
NF_{SA}	Spektrum analizörün gürültü elemanı
OCXO	Oven controlled crystal oscillator
PLL	Faz kilitlemeli çevrim
P_s	Anlık gücün tepe değeri
R	Referans direnç
r	Yansımaya katsayısı
RBW	Bant genişliği çözünürlüğü
RF	Radyo Frekansı
n	Spektrum analizörün yansımaya katsayısının genliği
r_s	Kaynağın yansımaya katsayısının genliği
s	VSWR
SPAN	Frekans aralığı
ST	Süpürme (tarama) zamanı
T_0	Periyod
TCXO	Sıcaklık kontrollü kristal osilatör
T_s	Örnekleme periyodu
T_{sweep}	Gerekli minimum tarama süresi
\hat{U}_{in}	İki sinüzoidal işaretin maksimum değeri
\hat{U}_{in}	$V_{in}(t)$ 'nin tepe değeri
VCO	Gerilim kontrollü osilatör
v_{rms}	Gerilimin RMS değeri
w_o	Açısal Frekans
$x(t)$	Zaman domenindeki işaret
$X_f(f)$	Frekans domenindeki kompleks işaret

ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 2.1. İşaretin alçak geçiren bir filtre ve f_s örnekleme oranı ile örnekleme
- Şekil 2.2. Ayarlanabilir bant geçiren filtreye sahip spektrum analizör blok diyagramı
- Şekil 2.3. Spektrum Analizörün Blok Diyagramı
- Şekil 2.4. Örnek işaretin görüntülenen spektrumu
- Şekil 2.5. 75Ω Girişli sistemde empedans uyumu
- Şekil 2.6. Heterodyne prensibindeki belirsizlik
- Şekil 2.7. Alttan frekans karıştırılmalı ($f_{lo} - f_{in} = f_{IF}$) superheterodyne bir alıcı
- Şekil 2.8. Yüksek değerli ara frekans kullanımında, frekans aralıkları
- Şekil 2.9. Çok Geniş Tarama Aralıklarının Etkisi
- Şekil 2.10. FFT kullanılarak spektrum analiz
- Şekil 2.11. 1. IF işaretindeki gürültü bileşenlerinin 1. IF filtre tarafından bastırılması
- Şekil 2.12. IF işaret işleme kademelerinde üretilen gürültünün bastırılması
- Şekil 2.13. Kullanılan dedektör tipine bağlı olarak örnekleme noktasının seçimi
- Şekil 2.14. Dedektörlerin analog gerçekleştirilmesi
- Şekil 2.15. Zarf dedektörü
- Şekil 2.16. IF İşaretinin zarfının belirlenmesi
- Şekil 2.17. Zarf dedektörü ile IF işaret zarfının elde edilmesi
- Şekil 2.18. Kompleks düzlemde sinüzoidal işaretin gösterimi
- Şekil 2.19. Geniş (üst) ve küçük (ekranın alt yarısı) video bant genişliği değerleri ile görüntülenen, düşük S/N oranına sahip sinüzoidal işaret
- Şekil 2.20. Görüntülenen işaret ve gürültü
- Şekil 2.21. Filtreleme sonrası ekranda görülen işaret
- Şekil 2.22. 1, 5, 20, 100ms'lik süpürme sürelerinde video(sayısal) ortalama etkisi
- Şekil 2.23. a) Video filtreleme (Analog)
- Şekil 2.23. b) Video ortalama (Sayısal)
- Şekil 2.24. Giriş işaretinin faz gürültüsünün marker fonksiyonu ile ölçümü
- Şekil 2.25. Limit çizgilerinin yardımı ile ölçümün değerlendirilmesi
- Şekil 2.26. Gereken minimum süpürme süresi sağlanamadığı durumda oluşan genlik kaybı (Genliği düşük olan işaret)
- Şekil 3.1. Ardaşıl birden fazla gürültü elemanına sahip sistemler

- Şekil 3.2.** Görüntülenen Gürültü Seviyesine RF Zayıflatıcının Etkisi
- Şekil 3.3.** Farklı çözünürlük bant genişliği değerlerinde görüntülenen ortalama gürültü seviyesi
- Şekil 3.4.** İntermodülasyon bileşenleri a) Test edilen cihazın intermodülasyon ürünleri (ölçüm doğru) b) Analizörün intermodülasyon ürünleri (ölçüm yanlış)
- Şekil 3.5.** Tek yan bant faz gürültüsü
- Şekil 3.6.** İşaretçi fonksiyonu ile faz gürültüsü ölçümü
- Şekil 3.7.** Doğru bant genişliğinin seçimi
- Şekil 4.1.** Mutlak Genlik Ölçümü
- Şekil 4.2.** Bağlı genlik ölçümü
- Şekil 4.3.** Bant içindeki frekans yanıtı belirsizliği
- Şekil 4.4.** Aynı frekans bandındaki temel işaret ve ikinci harmonik
- Şekil 4.5** a) Spektrum analizörde görüntülenen giriş işareti
b) Ampcor ile düzeltilmiş giriş işareti
- Şekil 5.1.** Çözünürlük bant genişliği seçiciliği
- Şekil 5.2.** 300Hz Analog çözünürlük bant genişliği filtresi
- Şekil 5.3.** 100Hz Analog çözünürlük bant genişliği filtresi
- Şekil 6.1.** Giriş işareti
- Şekil 6.2.** Ampcor düzeltme tablosu
- Şekil 6.3.** Şekil 6.1'deki işaretin Ampcor ile düzeltilmiş hali
- Şekil 6.4.** Gürültü tarafından örtülmüş giriş işareti ölçümü
- Şekil 6.5.** Çözünürlük ve zayıflatıcı değerleri minimize edilmiş durum
- Şekil 6.6.** Video ortalaması alınmış işaretin görünümü
- Şekil 6.7.** Dahili üretilen gürültü bileşenleri
- Şekil 6.8.** Harici üretilen gürültü bileşenleri
- Şekil 6.9.** Zaman geçitsiz modülasyonlu işaret
- Şekil 6.10.** Zaman geçitli işaret
- Şekil 6.11** Çözünürlük bant genişliği ayarları
- Şekil 6.12** Sıfır ölçüm aralığı
- Şekil 6.13** Sıfır-frekans ölçüm aralığındaki işaretin FFT dönüşümü
- Şekil 7.1** Gauss dağılımı

Şekil 8.1. 10MHz Referans Osilatör Çıkışı Doğruluğu

Şekil 8.2. 10 MHz Frekans Çıkış Doğruluğu

Şekil 8.3. Frekans Okuma ve Marker Doğruluğu

Şekil 8.4. 10kHz'deki Yan bant gürültüsü

Şekil 8.5. Sistem ve Yan Bant fark değerleri (* 75Ω için)

Şekil 8.6. 1800MHz Frekans aralığı okuma doğruluğu (* 75Ω için)

Şekil 8.7 Artık FM (Residual FM) (* 75Ω için)

Şekil 8.8. Süpürme zamanı doğruluğu (* 75Ω için)

Şekil 8.9 Logaritmik skala (* 75Ω için)

Şekil 8.10 Mutlak genlik belirsizliği



TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1. HP 8591E Spektrum analizöre ait karakteristik değerleri

Tablo 3.2. Örnek bir spektrum analizörün frekans doğruluğu, karakteristik değerleri

Tablo 4.1. Genlik belirsizliği bileşenleri

Tablo 4.3. Agilent marka üç analizöre ait karakteristik verileri

Tablo 7.1. Temel Büyüklükler

Tablo 7.2 Ölçüm belirsizliği hesabında kullanılan bazı dağılımlar

Tablo 8.1. 10 MHz Referans doğruluğu

Tablo 8.2. Frekans okuma doğruluğu

Tablo 8.3. Süpürme Zamanı Doğruluğu

Tablo 8.4. Logaritmik mod ölçekleme uygunluğu

Tablo 8.4. Lineer mod ölçekleme uygunluğu

Tablo 8.5 Referans seviye doğruluğu (logaritmik)

Tablo 8.6 Referans seviye doğruluğu (lineer)

Tablo 8.7 RBW Belirsizliği

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Haberleşme sistemleri başta olmak üzere, frekans tabanlı birçok ölçümde kullanılan spektrum analizörler, bu çalışma kapsamında incelenmektedir. Spektrum analizörlerin çalışma yapısı, cihazların ölçüm doğruluğuna etki eden etmenler, spektrum analizör cihazlarının kalibrasyonlarında ölçülmesi gereken noktalar ve analizörler için kullanılan kalibrasyon prosedürleri incelenen temel konular arasındadır.

Tez çalışması kapsamında ilk olarak Heterodyne ilkesi ve spektrum analizörü oluşturan katmanlar ile bunların çalışma prensipleri anlatılmış; Üçüncü bölümde spektrum analizörün performans özellikleri incelenmiş; Dördüncü ve beşinci bölümlerde analizörün ölçüm kapasitesi ve doğruluğunu etkileyen faktörler üzerinde durulmuş; Altıncı bölümde de bazı temel iyileştirici ölçüm yöntemleri verilmiştir.

Yedinci bölümde ölçme ve kalibrasyon ile ilgili temel kavramları verilmiş. Sekizinci bölümde örnek bir spektrum analizör kalibrasyon prosedürü açıklanmış ve bu testlerin sonuçları EK-1 de belirtilmiştir.

Ayrıca ekler bölümünde TÜRKAK(Türkiye Akreditasyon Kurumu) tarafından TS EN 17025 (Kalibrasyon ve Deney Laboratuvarları için gerek şartlar) normuna göre akredite edilmiş SİMKAL Kalibrasyon Merkezi tarafından hazırlanan spektrum analizör için örnek bir kalibrasyon sertifikası verilmiştir.

İzlenen konu sırası öncelikle cihazın çalışma sistemi ve bileşenlerini tanıtmaya, ardından kullanıcıya sunduğu ölçüm olanakları ve donanımını tanıtmaya; son olarak da kullanım performansını arttırma ve cihaz kalibrasyonu sırasında hangi noktaların önem taşıdığı ve bu testlerin neden yapıldığını kavratma amaçlıdır.

Endüstriyel kalibrasyon hizmeti veren bir laboratuarda spektrum analizör kalibrasyonu yapabilecek bir personeli yada piyasada çalışan ve cihazı performans özelliklerinin önem kazandığı uygulamalarda kullanan kişiler için eğitici bir dökümantasyon ve uygulama ile desteklendiğinde geliştirilerek bir eğitim paketi haline getirilebilecek bir sunum oluşturulma amacı da güdülmüştür.

Uygulamada yaygın olarak kullanılan ve Türkçe karşılıklarının kullanımı tam oturmamış terimler dışındaki tüm yabancı terimler TSE'nin "TS IEC 714" numaralı "Spektrum Analizörüne ait Özelliklerin Tayini" adlı standardından da yararlanılarak dökümanlarda Türkçe karşılıkları ile yer almışlardır.



BÖLÜM 2. SPEKTRUM ANALİZÖRLER

Spektrum analizör, işaretleri frekans ekseninde görüntüleyen, ve frekans tabanlı ölçümler yapabilen gelişmiş bir ölçüm cihazıdır. Özellikle haberleşme, TV sistemleri, frekans bandındaki ölçümler gibi alanlarda kullanılan analizörler, kullanım yer ve amaçlarına göre çeşitli tiplerde üretilirler. Bu bölümde spektrum analizörlerin temel özellikleri, analizörü oluşturan katmanlar ve bunların çalışma sistemleri verilmiştir.

2.1. Spektrum Analizörlerin Çalışma Aralıkları

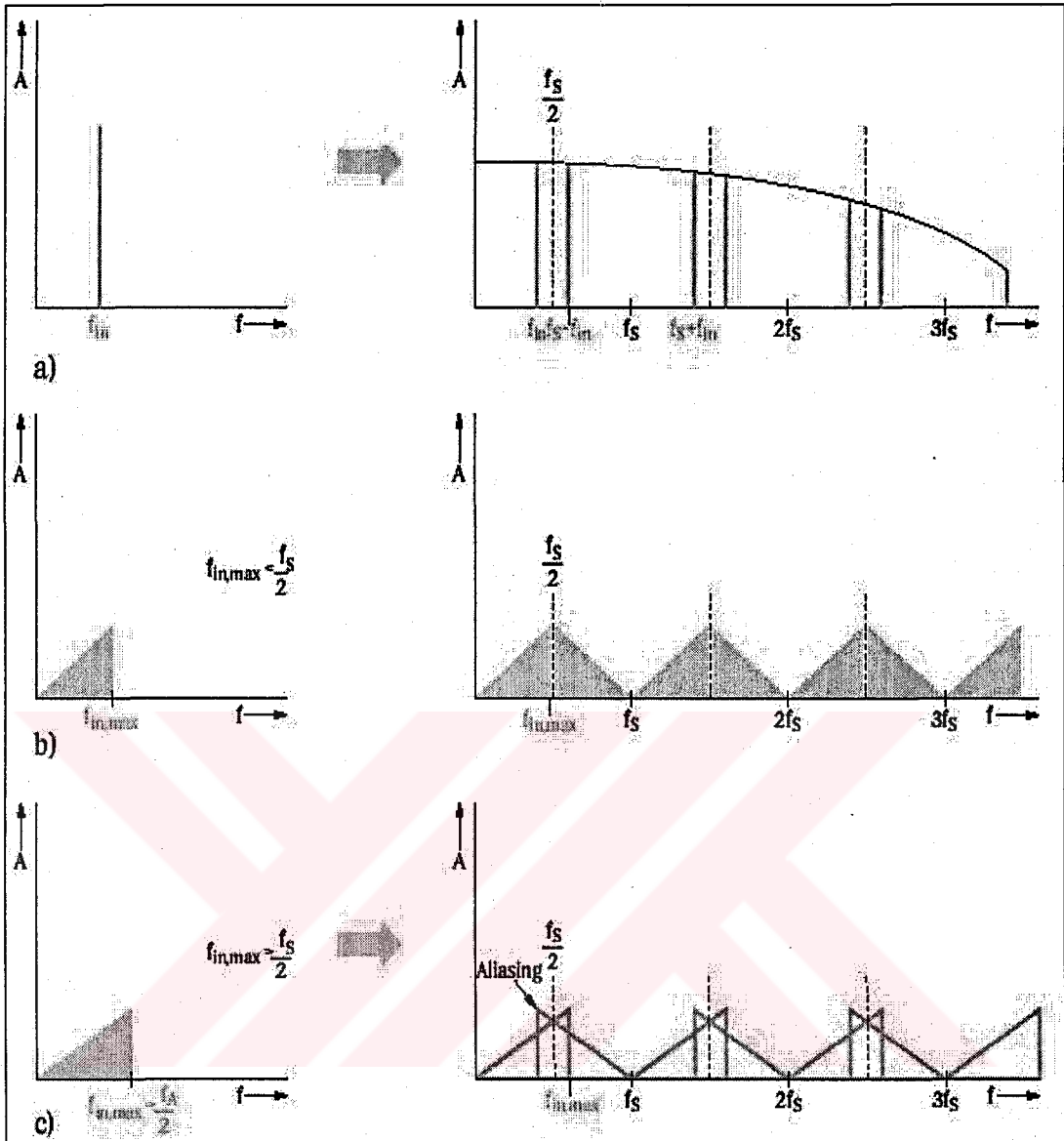
Çalıştıkları frekans aralıklarına bağlı olarak spektrum analizörler aşağıda belirtilen şekilde adlandırılabilirler:

-AF aralık	1 MHz'e kadar
-RF Aralık	3 GHz'e kadar
-Mikrodalga aralığı	40 GHz'e kadar
-Milimetre-dalga aralığı	40 GHz üzeri

AF aralık, düşük frekans elektroniği, akustik ve mekanikte kullanılır. RF aralığı, kablosuz haberleşme uygulamaları başta olmak üzere, ses ve TV sistemleri gibi alanlarda kullanılır. Mikro ve milimetrik dalgalar veri transferi ve yayıncılık gibi alanlarda kullanılmaktadırlar.

2.2. Ayırık Fourier Dönüşümü

Spektrum analizörlerde fourier dönüşümleri sayısal işaret işleme (Digital signal processing, DSP) devreleri ile gerçekleştirilir. İşaret bir analog/sayısal dönüştürücü (ADC) tarafından örneklenir ve genlik değerleri kuantalanır. Sürekli giriş işaretinin örneklenmesi sırasında işaret zamanda ayırık işarete dönüşür ve zaman karakteristiği ile bilgileri yok olur. Giriş işaretinin bant genişliği sınırlı olmalıdır. Aksi takdirde işaretin yüksek frekanslı bileşenleri örnekleme sırasında istenmeyen etkiler oluşturacaklardır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. İşaretin alçak geçiren bir filtre ve f_s örnekleme oranı ile örneklenmesi
a), b) $f_{in,max} < f_s/2$, c) $f_{in,max} > f_s/2$, belirsizlik durumu oluşur.

Örneklemede Shannon yasası uyarınca; Örnekleme frekansı f_s giriş işaretinin bant genişliğinin iki katından fazla değere sahip olmalıdır.

$$f_s \geq 2 \cdot B_{in} \text{ ve } f_s = \frac{1}{T_s} \quad (2.1)$$

Burada f_s [Hz] = Örnekleme frekansı
 B_{in} [Hz] = İşaretin bant genişliği
 T_s [s] = Örnekleme periyodu

Alçak geçiren-filtrelenmiş işaretlerin minimum örnekleme frekansı, işaretin frekansının maksimum değerine bağlıdır.

Eğer $f_s = 2.B_m$, sınır değerinin altında kalırsa işaretin örnekleme değerlerinden yeniden oluşturulması mümkün değildir. Bu yüzden pratikte $2.B_m$ değerinin üzerinde örnekleme hızları kullanılır. Frekans spektrumunun seyrek örneklenmesi sonucu zaman uzayında işaret değerlerinin üst üste binmesi olayı, zamanda örtüşme (aliasing) olarak adlandırılmaktadır (Ertürk 2003).

İşaretin zaman domenindeki örnekleme noktalarından işaretin spektrumunun hesaplanması ayrık fourier dönüşümü ile gerçekleştirilir. Ayrık fourier dönüşümü (Discrete Fourier Transform, DFT) ifadesi denklem 2.2 ile verilmiştir.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(nT_s) \cdot e^{-j2\pi kn/N} \quad (2.2)$$

k = Ayrık frekans bileşenleri indeksi, $k=0,1,2,\dots$

n = Örnekleme indeksi, $n=0,1,2,\dots$

$x(nT_s)$ = $n.T_s$ noktalarındaki örnekler

N = AFD uzunluğu

Şekil 2.9a'daki örnekte işaretin ayrık frekans spektrumunun frekans bileşenleri, giriş işaretinin frekansını tam olarak karşılamaktadırlar. Aşağıda belirtilen şartlar tam olarak sağlanmıştır:

- İşaret periyodik olmalıdır (T_0 periyodunda)
- Gözlem zamanı $n.T_s$, işaret periyodu T_0 'ın tam katı olmalıdır.

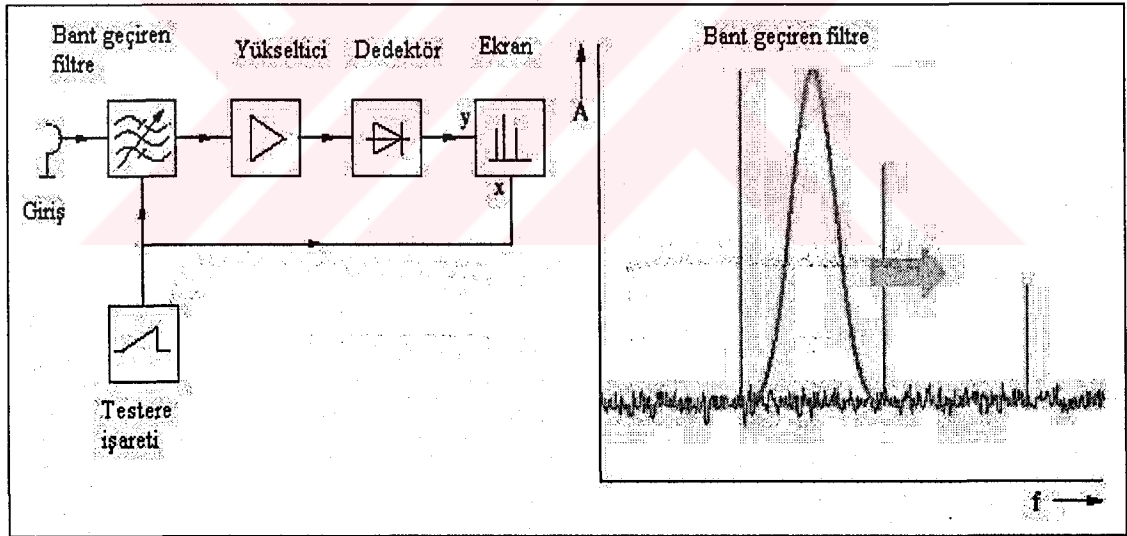
Pratikte bu gereksinimler tam olarak sağlanamazlar, bu yüzden fourier dönüşümünün sonucu, beklenen değerden sapma gösterir. Bu sapma miktarı genlik hatası ile karakterize edilebilir.

2.3. Heterodyne Prensibi

Günümüzde spektrum analizörlerde işaretin; spektrum analizör girişinden, işlenerek görüntülenmesi aşamasına kadar gerçekleşen tüm işlemler, Heterodyne prensibi ile gerçekleştirilmektedir. Spektrum analizörlerin yapısı ve çalışması altında bu prensipte 2.3.1’de açıklanmıştır.

2.3.1. Heterodyne prensibine göre çalışan spektrum analizörlerin çalışma yapısı

Sınırlı bant genişliğine sahip analog/sayısal dönüştürücülerle gerçekleştirilen FFT analizörler, sadece düşük frekanslı işaretlerin ölçümünde kullanılır. Mikrodalga gibi yüksek frekanslı işaretleri görüntülemek için analizörlerde bir frekans dönüşümü uygulanır. Böyle bir analiz için giriş spektrumunun özel alt bölümlere ayrılması gereklidir. Ayarlanabilir bant geçiren bir filtre bu iş için kullanılabilir (Şekil 2.2).

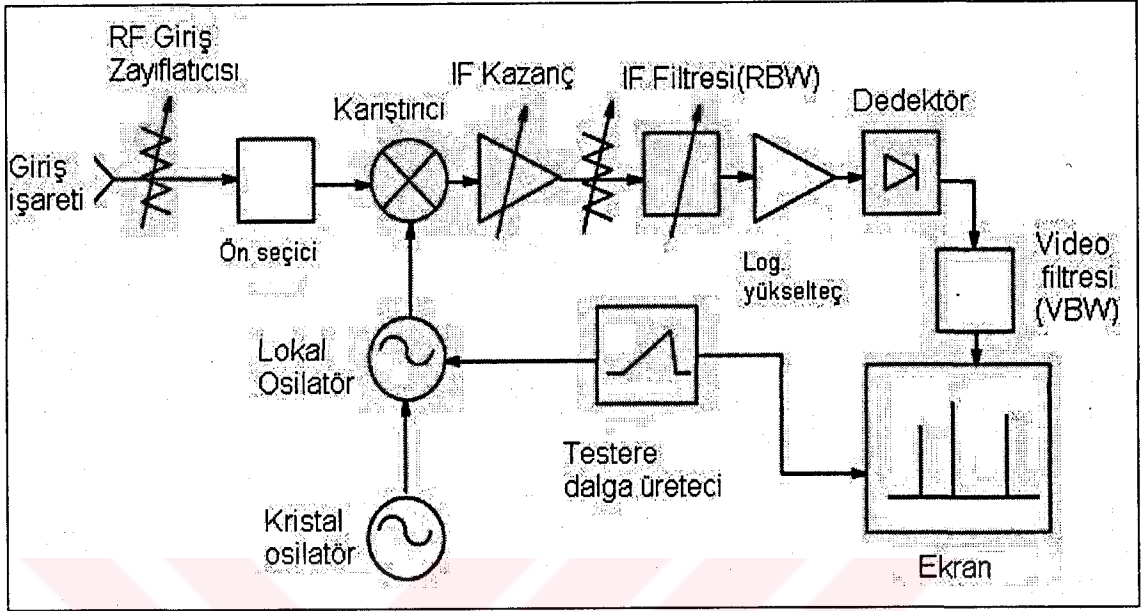


Şekil 2.2. Ayarlanabilir bant geçiren filtreye sahip spektrum analizör blok diyagramı

Filtrenin bant genişliği, analizörün çözünürlük bant genişliğine karşılık gelir. Daha düşük bant genişliği, analizörün spektral çözünürlüğünü artırır.

Spektrum analizörlerde, giriş frekans aralığı boyunca ayarlanabilir dar bantlı filtrelerin kullanılması teknik olarak verimli olmaz. Ayarlanabilir filtreler, merkez

frekansta sabit bant genişliği sağlarlar. Heterodyne alıcıların blok diyagramı şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Spektrum Analizörün Blok Diyagramı

Heterodyne alıcı giriş işaretini bir lokal osilatör (LO) ve karıştırıcı (mikser) yardımı ile bir ara frekans (Intermediate frequency, IF) değerine dönüştürür. Giriş frekans aralığının tamamı lokal osilatör frekansının değiştirilmesi ile sabit bir IF frekansına dönüştürülebilir.

Karıştırıcıda karışan işaret, bant genişliği çözünürlüğü değerini belirleyen IF filtreye girmeden önce bir IF yükseltecine uygulanarak yükseltilir. IF işareti logaritmik yükselteç ile yükseltilir ve zarf dedektörü ile zarfı belirlenir. Sonuçta oluşan işaret video işareti olarak adlandırılır. Bu işaretin; video filtre olarak adlandırılan ayarlanabilir bir alçak geçiren bir filtre yardımı ile ortalaması alınır. Böylece işaret gürültüden arındırılmış ve gösterim için uygun hale getirilmiş olur. Video işareti, spektrumun ekranının dikey eksenine uygulanır. Video işareti bir frekans fonksiyonu olarak görüntülenmeden önce elektron demetinin yatay sapmasını ayarlamak için lokal osilatör frekansını ayarlama işleminde de kullanılan testere dişi işareti ekrana uygulanır. Ara frekans ve lokal osilatör frekansları bilinmektedir. Giriş işareti ekrana, görüntülenmiş spektrum bilgisi olarak aktarılır.

Spektrum analizörlerde, giriş işaretini uygun noktadan örnekleyen analog/sayısal dönüştürücüler içeren, hızlı sayısal işaret işleyiciler (Digital signal processing,DSP) kullanılmaktadır. Eski sistemlerde, video işareti analog zarf detektörü ve video filtresinin ardından örneklenmekte idi.. Artık spektrum analizörlerde işaretler, IF katında sayısallaştırılır. IF işaretinin zarfı, daha sonra örneklenen işareten belirlenir. Eski heterodyne alıcılarda, ilk lokal osilatör işareti analog testere dişi işareti yardımı ile ayarlanmazdı. Günümüzde kullanılan analizörlerde lokal osilatör frekansı bir faz kilitlemeli çevrim (Phase Locked Loop,PLL) devresi ile referans frekansa kilitlenir. PLL tekniğinin avantajı, analog ayarlama yöntemine göre çok daha yüksek frekans doğruluğu sağlamasıdır.

2.4. Temel Ayarlama Parametreleri

2.4.1. Frekans görüntüleme aralığı (Etkin frekans aralığı)

Görüntülenecek olan frekans aralığı, başlangıç ve bitiş frekanslarının girilmesi ile yada merkez frekans ve frekans aralık değerinin belirtilmesiyle ayarlanabilir.

2.4.2. Frekans bandı

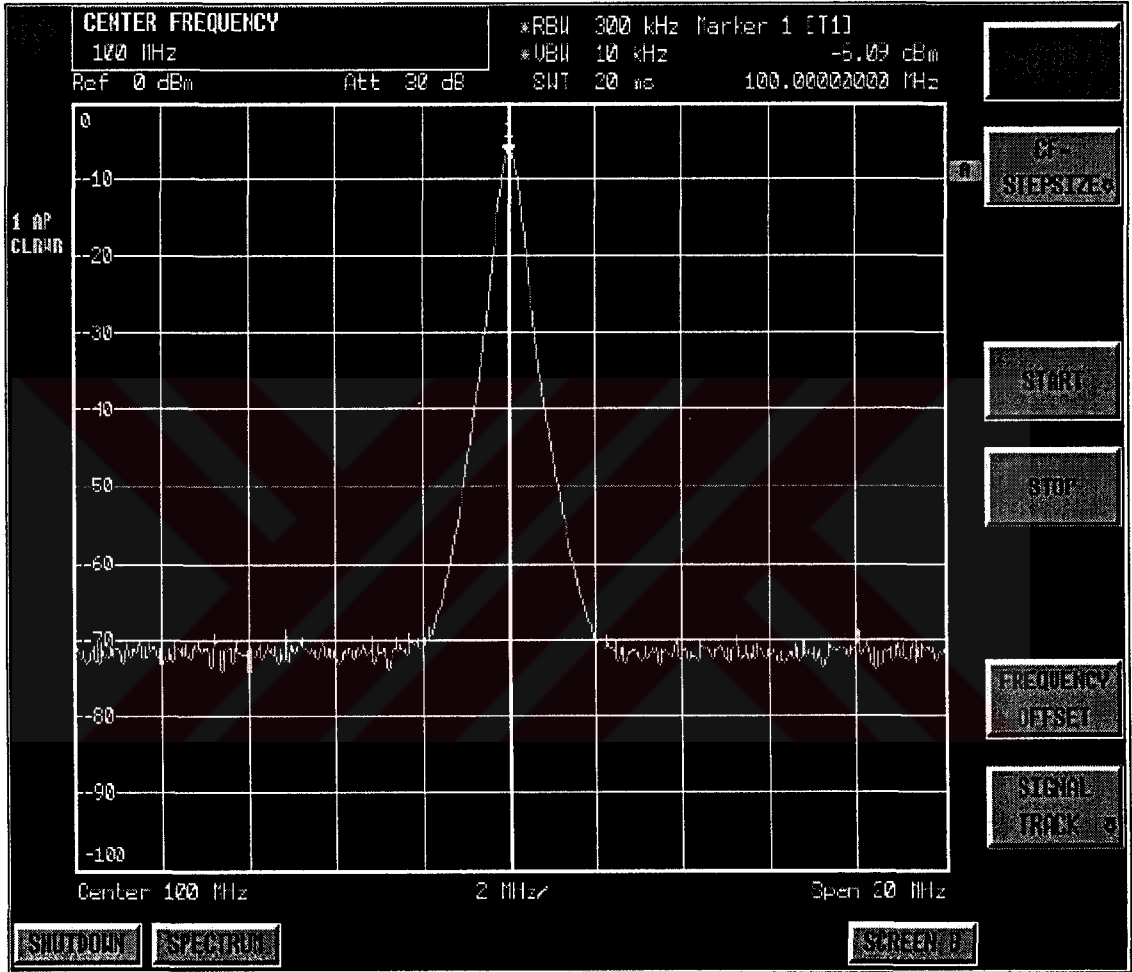
Frekans bandı, Hertz cinsinden ifade edilen, frekansın ayarlanabildiği aralıktır.

2.4.3. Seviye görüntüleme aralığı

Seviye aralığı, görüntülenebilecek maksimum seviye (referans seviye) ve frekans aralığı yardımı ile tanımlanır. Şekil 2.4'deki örnekte referans seviye 0 dBm, seviye görüntüleme aralığı 100 dB olarak ayarlanmıştır. RF giriş zayıflatıcısının değeri de bu ayara bağlıdır.

2.4.4. Frekans çözünürlüğü

Heterodyne prensibi ile çalışan analizörlerde frekans çözünürlüğü IF filtrenin bant genişliği ile ayarlanır. (Frekans çözünürlüğü aynı zamanda "RBW" olarak da adlandırılır.)



Şekil 2.4. Örnek işaretin görüntülenen spektrumu

2.4.5. Süpürme zamanı (Sweep time)

Etkin frekans aralığındaki spektrumu kaydetmek için, gerekli zaman dilimi süpürme yada tarama zamanı olarak tanımlanır. Süpürme zamanı ile etkileşimli olan çözünürlük filtreleri de analog ve sayısal olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir.

2.4.6. Analog çözünürlük filtresi

Spektrum analizörün değerlendirilmesinde çözünürlük tek kriter olarak alınır; analizörler mümkün olan en dar çözünürlük filtresinde (IF) dizayn edilir ve çalıştırılırlar. Ancak çözünürlük süpürme zamanını etkilemektedir. Süpürme zamanı, bir ölçümü tamamlama için gerekli süreyi doğrudan etkiler.

Denklem 2.3'de gösterildiği gibi karıştırıcı çıkış işaretinin, IF filtresinin geçiş bandında ne kadar süre ile kalacağı, bant genişliği ile doğru, Hz cinsinden süpürme zamanı ile ters orantılı olacaktır.

$$\text{Band geçiş zamanı} = \frac{(RBW)}{(SPAN)} = \frac{[(RBW) * (ST)]}{(SPAN)} \quad (2.3)$$

RBW = Bant genişliği çözünürlüğü, Hz

ST = Süpürme (tarama) zamanı, s

SPAN = Frekans aralığı, Hz

Filtrenin yükselme zamanı (rise time), bant genişliği ile ters orantılıdır.

Spektrum analizörler, süpürme zamanı ile frekans aralığını (span), çözünürlük ile bant genişliği ayarlarını eşleştirirler. Süpürme zamanı, kalibre edilmiş görüntünün sağlanması için ayarlanır. Eger süpürme zamanı mümkün olan en yüksek değerden yüksek ise, analizör ekranda kalibre edilmemiş olduğunu belirtir.

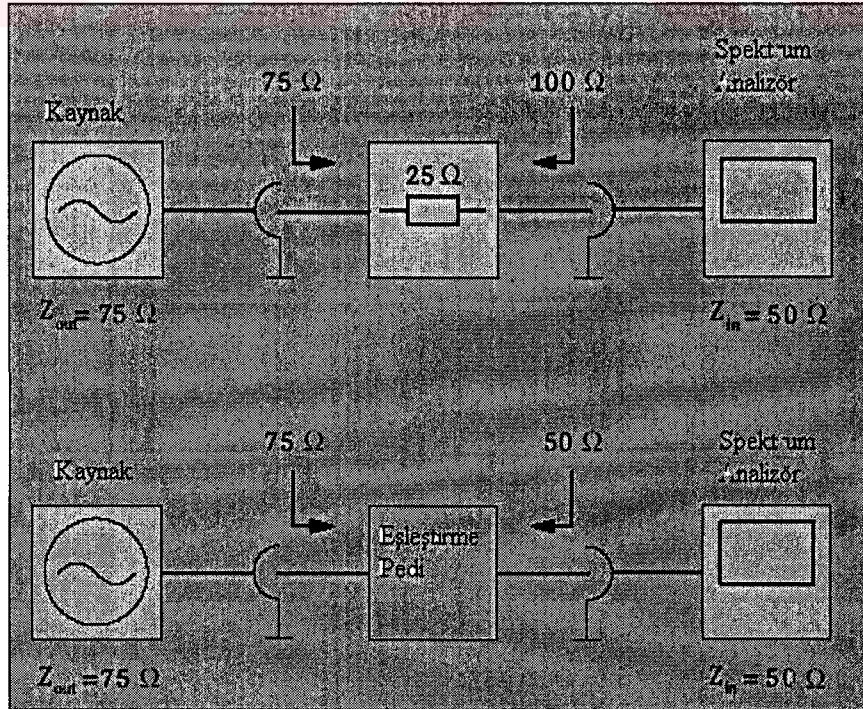
2.4.7. Sayısal çözünürlük filtresi

Sayısal çözünürlük filtreleri ölçülen frekans aralığını, sabit genişlikteki bloklar halinde işlerler. Örnek olarak analizörde 600Hz'lik bant genişliğinde, 10Hz'lik aralıklar ile 60 adet 10 Hz'lik aralık aynı anda işlenecektir.

2.4.8. Giriş empedansı

Spektrum analizörün giriş empedansıdır. Genellikle 50Ω yada 75Ω değerindedir. Spektrumun kullanılacağı uygulama türüne göre spektrum üzerinde değiştirilebilir. Ses ve TV sistemlerinde, 75Ω cihazlar 50Ω cihazlara göre daha fazla kullanılırlar. 50Ω girişli spektrum analizörler kullanılarak bu tarz sistemlerde ölçüm yapabilmek için empedans dönüştürücü adaptörler kullanılmalıdır. Aksi halde ölçülen cihaz ile spektrum analizör arasında empedans uyumsuzluğu etkisinden kaynaklanan ölçüm hataları oluşur.

50Ω sistemden 75Ω 'a dönüşümün en basit yolu 25Ω seri direnç kullanımıdır. Şekil 2.5'deki ara bağlantı ile 75Ω 'luk çıkış karşısında toplamda 75Ω giriş görmesine rağmen 50Ω 'luk analizörler, giriş karşısında toplam 100Ω 'luk çıkış görmekte ve empedans uyumsuzluğu durumu oluşmaktadır. Bu yüzden şekil 3.5'deki empedans uygunlaştırıcı adaptörlerin kullanımı, her iki tarafında karşısında uygun empedans değerini görmesini sağlar ve kayıp oluşmasını önler. Dolayısıyla spektrumun doğru ölçümü elde edilir.



Şekil 2.5. 75Ω Girişli sistemde empedans uyumu

2.5. Heterodyne Prensibi ile Çalışan Spektrum Analizörün Gerçeklenmesi

2.5.1. RF Giriş bölümü

Heterodyne alıcı, giriş işaretini bir karıştırıcı ve lokal osilatör yardımı ile IF frekansına dönüştürür. Bu tip frekans dönüşümleri denklem 2.4 ve denklem 2.5 ile açıklanabilir:

$$f_{IF} = |m \cdot f_{lo} \pm n \cdot f_{in}| \quad (2.4)$$

$$f_{IF} = m \cdot f_{lo} \pm n \cdot f_{in} \quad (2.5)$$

f_{lo} = Lokal osilatör frekansı, Hz

f_{IF} = Ara frekans, Hz

m, n = Katsayılar

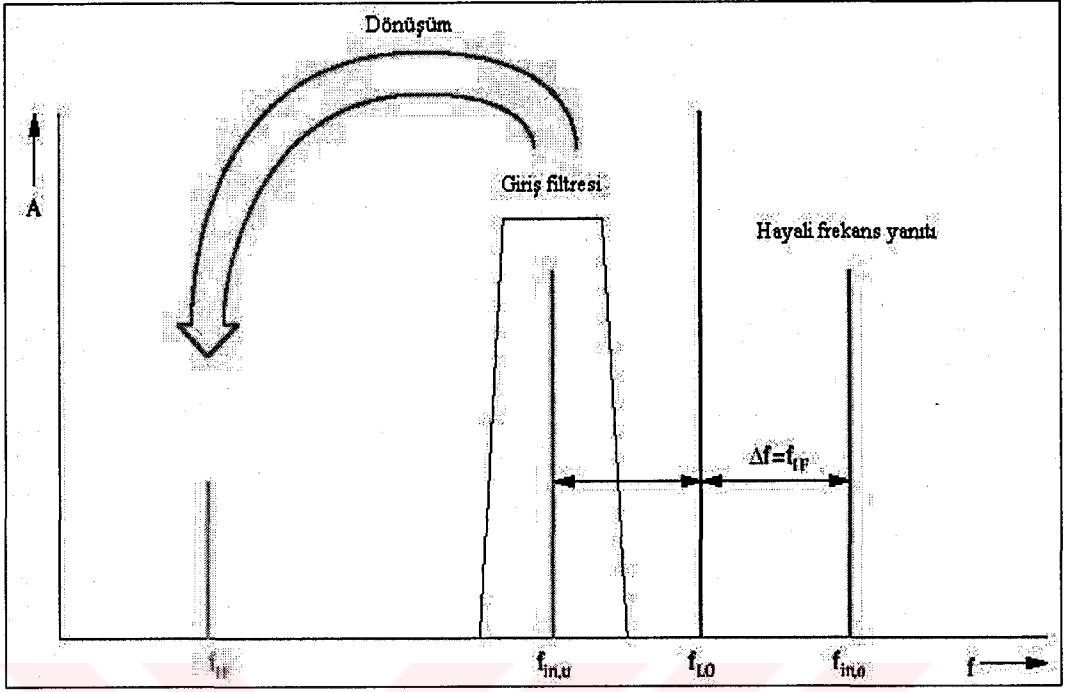
Giriş işaretinin temel frekansı ile lokal osilatör işaretinin aynı olduğu varsayılırsa $m, n=1$, denklem sadeleştirilebilir:

$$f_{IF} = f_{in} \pm f_{lo} \quad (2.6)$$

Buradan f_{in} çekilirse,

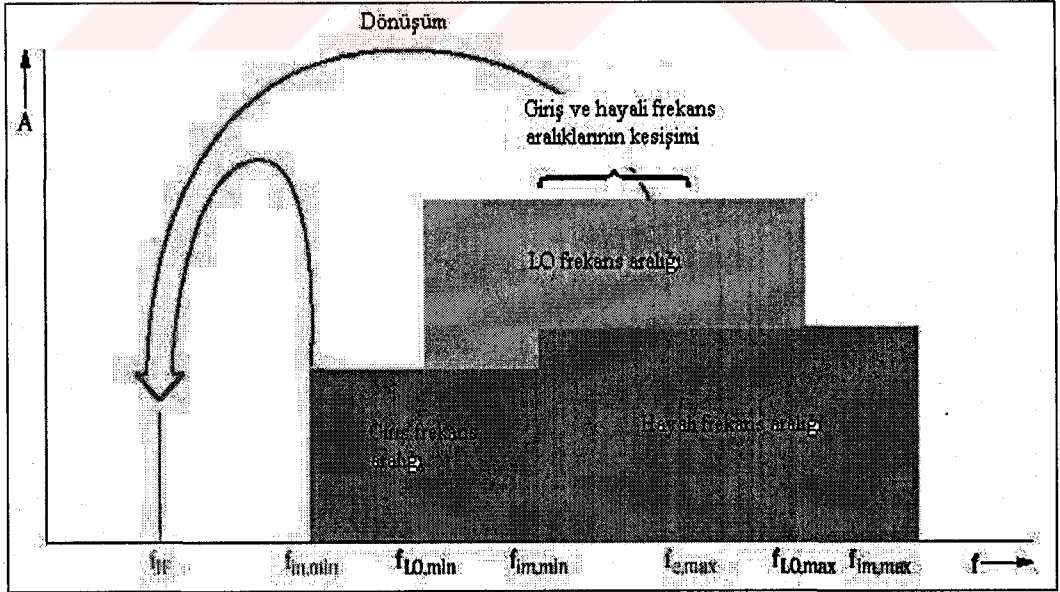
$$f_{in} = f_{lo} \pm f_{IF} \quad (2.7)$$

Giriş frekans aralığı, ayarlanabilir bir lokal osilatör ile sabit bir IF frekansına dönüştürülebilir. Örnek olarak, şekil 2.6'da analizör girişinde $f_{lo} > f_{in}$ olduğu durum gösterilmektedir. Bu durumda karıştırıcı çıkışında $f_{lo} + f_{in}$ ve $f_{lo} - f_{in}$ frekans bileşenleri elde edilecektir. $f_{lo} - f_{in} = f_{IF}$ olarak alınmıştır. Spektrum analizör girişinde istenilen f_{in} frekansı ile birlikte hayali frekans olan $f_{lo} + f_{in}$ frekansındaki işaretinde olduğu görülmektedir.



Şekil 2.6. Heterodyne prensibindeki belirsizlik

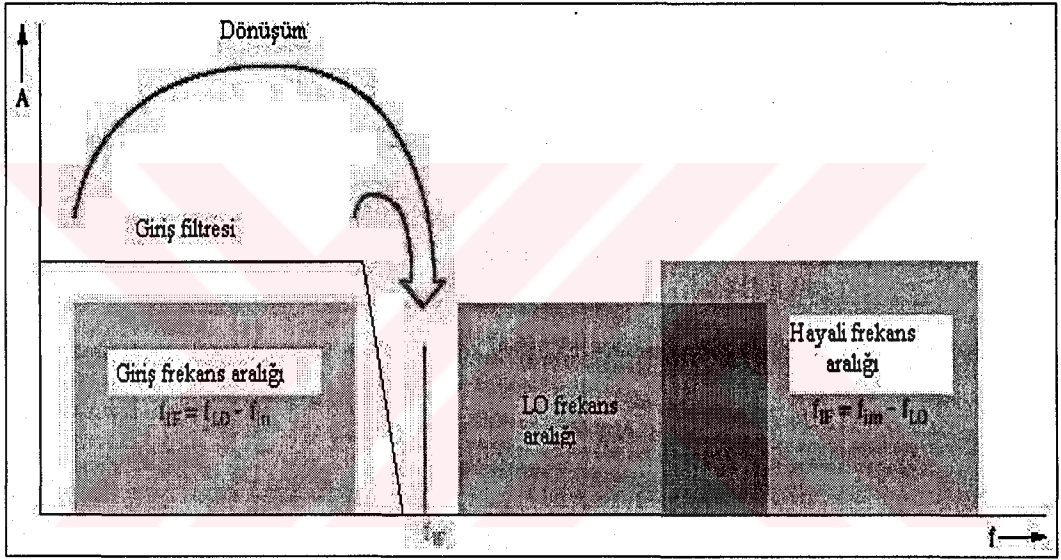
Bu durumda karıştırıcı çıkışında f_{in} işaretinin elde edilebilmesi için $f_{LO} + f_{in}$ frekansındaki hayali işaret atılır.



Şekil 2.7. Alttan frekans karıştırmalı ($f_o - f_{in} = f_{IF}$) superheterodyne bir alıcı

Şekil.2.7 f_{IF} değeri düşük bir analizör için giriş frekansı, hayali frekanslar ve lokal osilatör frekansı için frekans aralığını göstermektedir. Eğer giriş frekans aralığı, ikinci ara frekanstan büyük ise, belirtilen iki aralık üst üste çakışır. Bu durumda giriş filtresi ayarlanabilir bir bant geçiren filtre gibi davranıp istenilen giriş işaretini etkilemeden hayali frekans bileşenlerini engellemek zorundadır.

9 kHz - 3 GHz arasında çalışan spektrum analizörlerde, bu filtre yapısı geniş giriş aralığı yüzünden oldukça karışıktır. Ara frekansın yüksek değerli olduğu analizörlerde bu durum daha az karmaşıktır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Yüksek değerli ara frekans kullanımında, frekans aralıkları

Bu yapıda hayali frekans aralığı, giriş frekans aralığına göre daha yukarıda yer almaktadır. İki frekans aralığı çakışmadığı için, hayali frekanslar ayarlanabilir alçak geçiren bir filtre ile dışarıda bırakılabilir.

9 kHz ile 3 GHz frekans aralığında çalışan analizörlerde hayali frekansların engellenmesi için giriş zayıflatıcısından sonra bir alçak geçiren filtre (ön seçici devre) bulunur. Ön seçici devreyi oluşturan alçak geçiren filtre, lokal osilatörden RF girişe gelebilecek yansıma işaretlerini ve IF katından gelebilecek olası bir geri yansımayı da engeller. Bir örnek ile çalışma mantığı açıklanabilir:

İlk ara frekans değeri 3476,4 MHz ve giriş frekans aralığı 9 kHz ile 3 GHz olsun. Giriş frekans aralığını ara frekansa dönüştürebilmek için lokal osilatör işareti,

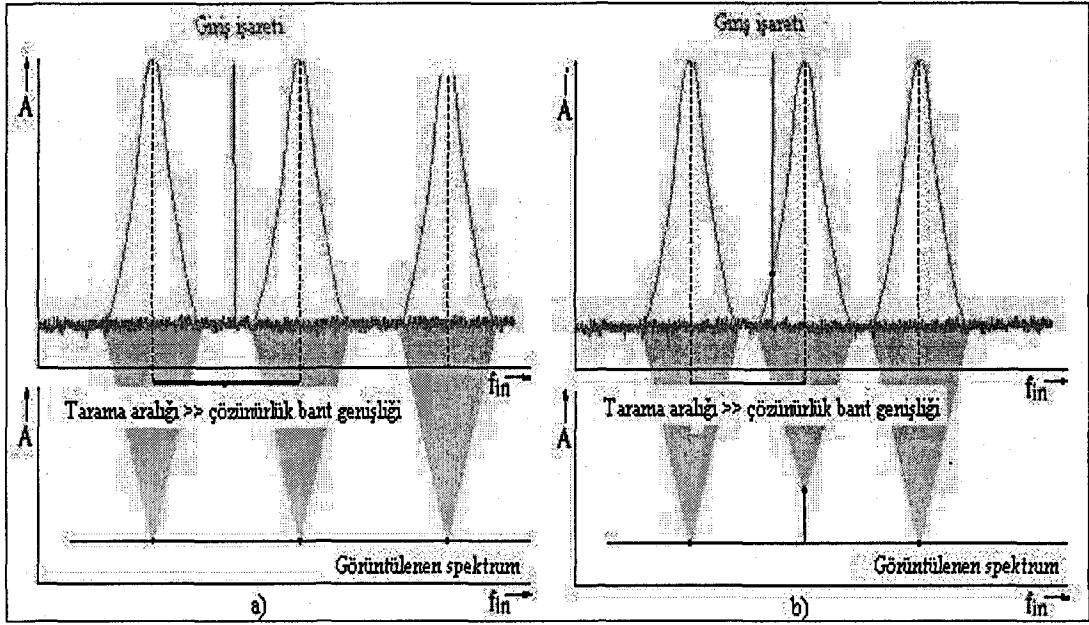
$3476,400 \text{ MHz} + 0,009 \text{ MHz} = 3476,409 \text{ MHz}$ ile,

$3476,4 \text{ MHz} + 3000 \text{ MHz} = 6476,4 \text{ MHz}$ aralığında olmalıdır.

Geniş frekans tarama aralığı ve taşıyıcı frekanstan uzak frekans değerlerinde de düşük gürültü oranı elde etmek için lokal osilatör olarak genellikle YIG osilatörleri kullanılır. Bu teknoloji rezonatörün frekansını ayarlamak için manyetik alanı kullanır. Bazı spektrum analizörlerde ise, lokal osilatör olarak gerilim kontrollü osilatörleri (VCO) kullanılır. Bu osilatörler YIG osilatörlere oranla daha dar bir tarama aralığına sahiptirler. Fakat YIG osilatörlerden çok daha hızlı tarama yapabilirler.

Spektrumun frekans doğruluğunu arttırmak için lokal osilatör işareti sentezlenir. Lokal osilatör işareti faz kilitlemeli çevrim ile referans işarete kilitlenir. Spektrum analizörlerde lokal osilatör frekansı sürekli olarak ayarlanmaz, ama çok küçük adımlarla değişim gösterir. Bu adım değerleri bant genişliği çözünürlüğüne bağlıdır. Küçük bant genişliği çözünürlüğü değerleri küçük tarama aralıkları (adımları) sağlar. Aksi takdirde giriş işareti tam olarak analiz edilemez yada genlik seviyesi hataları oluşabilir. Bu etki Şekil 2.9'de gösterilmiştir.

Bu tip hatalardan korunmak için tarama aralıkları, bant genişliği çözünürlüğü değerinden çok daha küçük olmalıdır (Pratikte tarama aralığı, bant genişliği çözünürlüğü değerinin 1/10'u gibi).



Şekil 2.9. Çok Geniş Tarama Aralıklarının Etkisi a) Giriş işareti tamamıyla kaybolur.
b) Giriş işaretinin görüntülenmesinde seviye hatası

Referans işaret genellikle sıcaklık kontrollü kristal osilatörler (TCXO) tarafından üretilir. Bunun dışında, spektrum analizörlerin frekans doğruluğunu ve uzun dönem stabilitesini arttırmak için, “Oven controlled crystal oscillator” (OCXO) kullanılabilir. Spektrum analizörlerin diğer ölçüm cihazları ile doğruluğunun sağlanması için referans işaret çıkışından (genellikle 10 MHz) üretilir. Spektrum analizörlerin farklı bir cihaz yada sisteme senkron çalışması için harici referans işaret girişi de kullanılabilir. Eğer referans işaret giriş ve çıkışı için sadece bir konnektör mevcut ise seçim kullanıcı tarafından spektrum analizörlerin yazılımı aracılığı ile yapılarak konnektörün modu belirlenir.

2.5.1.1. DC Bileşene sahip işaretlerin ölçümü

Spektrum analizörlerin bir çoğu çok düşük frekans değerlerinde (20 Hz gibi) DC kuplajlanmıştır. Bu yüzden RF giriş ile karıştırıcı arasında, işaretin yolu boyunca kuplaj kapasitörlerine sahip değildirler. DC gerilim, karıştırıcının girişine uygulanmamalıdır. DC bileşene sahip işaretlerin ölçümü için harici bir kuplaj kapasitörü (DC blok) kullanılır. Giriş işaretinin, DC bloğun ekleme kaybı (insertion loss) tarafından zayıflatılacağı da açıktır.

Bazı spektrum analizörler karıştırıcı devresini korumak amacıyla yerleştirilmiş dahili kuplaj kapasitörlerine sahiptirler. Giriş frekans aralığının alt değeri bu yüzden 9 kHz gibi değerlere kadar yükselir.

2.5.2. IF İşaret İşleme

IF işaret işlemesi son ara frekans katında gerçekleştirilir. Burada işaret yeniden yükseltilir ve çözünürlük bant genişliği IF filtresi tarafından tanımlanır.

Bu son ara frekanstaki kazanç tanımlanan basamaklarda ayarlanabilir (örnek olarak 0.1 dB basamaklar). Bu sayede işaret işleme sırasında maksimum işaret seviyesi zayıflatıcı ayarlarına ve karıştırıcı seviyesine bakılmaksızın, sabit tutulabilir.

2.5.2.1. IF Filtresinin gürültü bant genişliği

Gürültü ve gürültü benzeri işaretlerde ölçüm için, sayısal olarak modüle edilmiş işaretlerde olduğu gibi; Ölçülen genlik seviyeleri, ölçüm bant genişliği ile ilişkilendirilmelidir. IF filtresinin gürültü bant genişliği B_N , transfer fonksiyonundan eşitlik 2.8 ile bulunabilir. 2.8 eşitliği eşdeğer bant genişliği olarak verilen ifadedir.

$$B_N = \frac{1}{H_{V,0}^2} \cdot \int_0^{+\infty} H_V^2(f) \cdot df \quad (2.8)$$

B_N = Gürültü bant genişliği, Hz

$H_V(f)$ = Gerilim transfer fonksiyonu

$H_{V,0}$ = Gerilim transfer fonksiyonunun, merkez frekanstaki (f_0) değeri

2.5.3. IF Filtreler

Çözünürlüğün en yüksek değeri, dar bant IF filtreleri ile elde edilir. Bu filtreler, her zaman geniş bantlı filtrelerden daha uzun geçiş zamanlarına sahiptirler. Spektrum analizörler bu sayede özel uygulamalar için gereken uygun çözünürlük bant

genişliklerine ve ölçüm hızlarına ulaşabilmektedirler. Temel olarak üç çeşit filtre kullanılabilir:

2.5.3.1. Analog IF filtreler

Analog filtreler çok yüksek çözünürlük bant genişlikleri gerçekleştirmek için kullanılır. Analog filtreler kullanılan spektrum analizörlerde genellikle dört yada beş bağımsız filtre devresi bulunur. Bu sayede filtreleme işlevi fonksiyonel olarak dağıtılır. Örneğin IF yükselteciden önce ve sonra ikişer filtreleme devresi bulunabilir. Bu sayede; IF yükseltecinin önündeki filtre devreleri IF filtresinin geçiş bandının dışındaki işaret bileşenlerini söndürür ve IF yükseltecinde bu işaretler nedeniyle oluşabilecek intermodülasyon bileşenlerini engeller.

IF yükselteciden sonraki filtre devreleri gürültü bant genişliğini azaltmak için kullanılır.

2.5.3.2. Sayısal filtreler

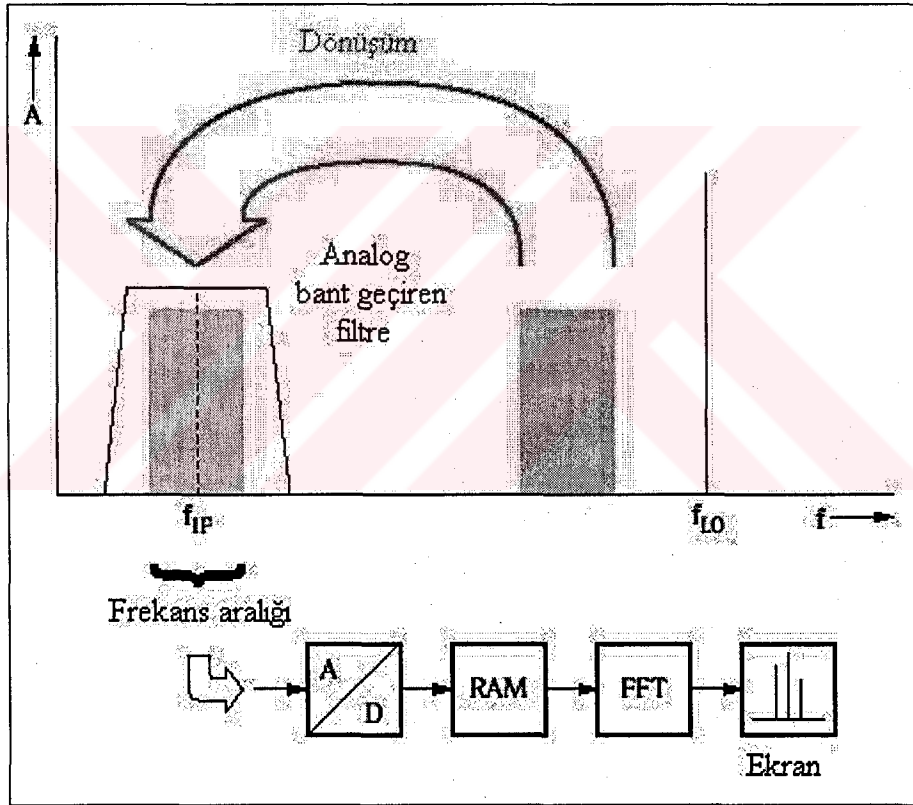
Sayısal işaret işleme ile, dar bant genişlikleri daha iyi gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca sayısal filtreler, yüksek ısı kararlılığına sahiptirler ve yaşlanma etkisi ile bozulmaya uğramazlar. Bu sayede yüksek doğruluk sağlarlar. Sayısal filtreler aynı bant genişliği değerinde analog filtrelere oranla daha küçük tarama (sweep) zamanları kullanımına imkan verirler.

2.5.3.3. FFT

IF bant genişliğinin çok düşük değerinde olması, geçiş zamanının artmasına ve dolayısıyla izin verilen tarama süresinin azalmasına neden olur. Yüksek frekanslı işaretler (birkaç GHz'ye kadar) ADC tarafından doğrudan örneklenemediği için, bu frekans aralığı ayarlanabilir bir lokal osilatör işareti kullanarak ara frekansa indirilir ve zaman bölgesinde örneklenir (Şekil 2.10). Belirsizliği gidermek için, bu durumda bir analog ön filtre gerekmektedir. Bant genişliği ve ara frekans değeri göz önüne alınarak uygulanabilecek örnekleme frekans aralığı denklem 2.9 ile hesaplanabilir.

$$\frac{2 \cdot f_{IF} + B}{k+1} \leq f_s \leq \frac{2 \cdot f_{IF} - B}{k} \quad (2.9)$$

- f_s = örnekleme frekansı, Hz
 f_{IF} = ara frekans, Hz
 B = IF işaretinin bant genişliği, Hz
 k = 1, 2, ...



Şekil 2.10. FFT kullanılarak spektrum analiz

FFT ile istenilen çözünürlük değerinde analiz edilebilecek maksimum frekans aralığı, ADC'nin örnekleme hızı ve örneklemlerin kaydedileceği hafıza alanı ile sınırlıdır. Bu nedenle geniş ölçüm aralıkları, bloklar halinde ara frekansa dönüştürülecek ve örneklenecek bağımsız parçalara bölünmelidir.

Analog veya sayısal filtrelerin tarama süreleri ölçüm aralığı ile doğru orantılı olarak yükselirken, FFT için gerekli olan gözlemlene süre, istenilen frekans çözünürlüğüne bağlıdır. Örnekleme ilkelerine uyumlu olabilmek için, yükselen ölçüm aralığı ile birlikte FFT için daha fazla örnekleme kaydedilmelidir. Bu arada FFT hesaplama zamanı da yükselir.

2.5.4. Karıştırıcı

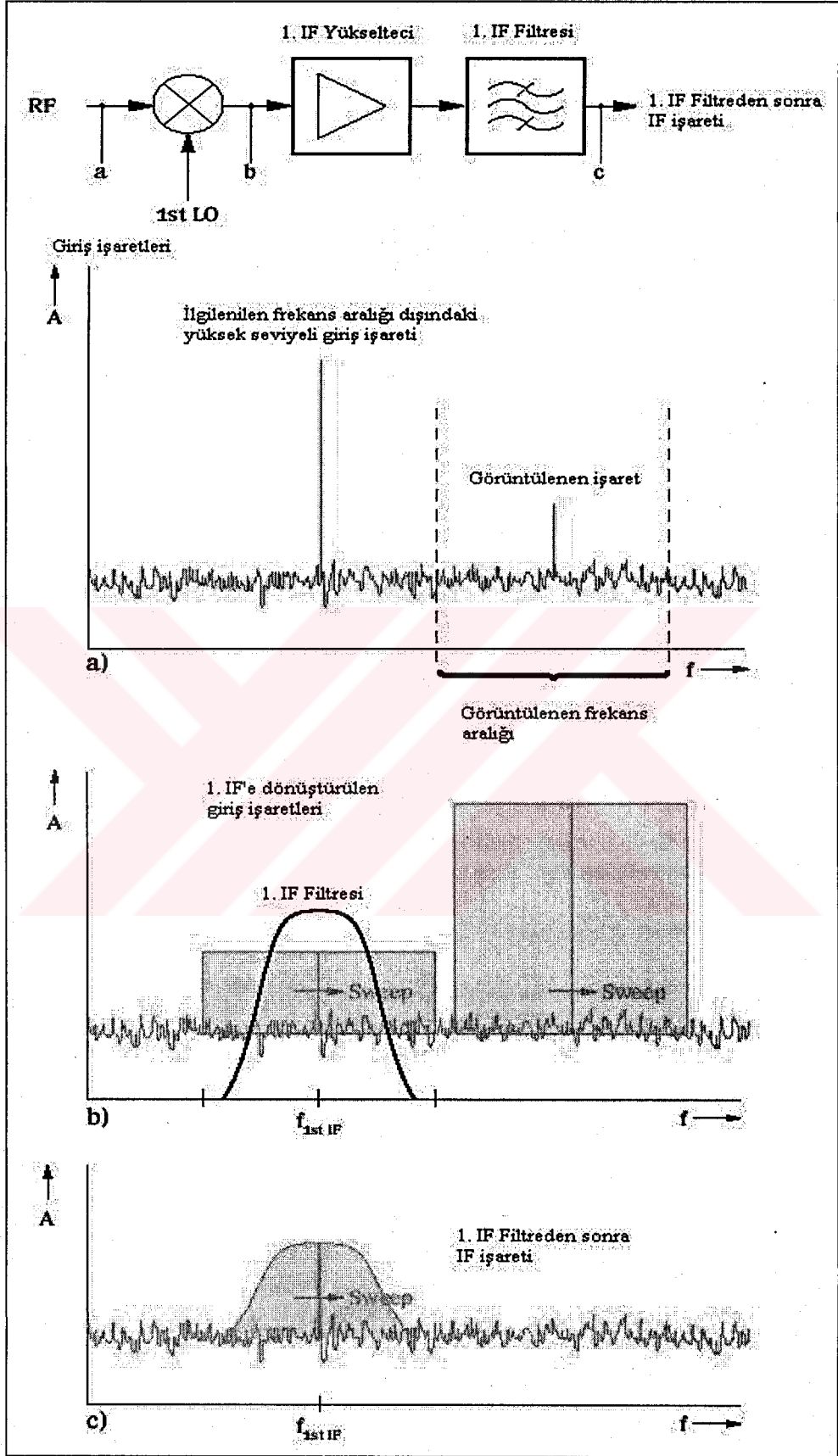
Spektrum analizörde birinci karıştırıcının önünde bir dar bant ön seçicisi yoksa, işaretler görüntülenecek olan ölçüm aralığı göz önünde bulundurulmaksızın toplam giriş frekansı aralığı içerisinde ilk karıştırıcıya uygulanabilir. Bu durumda karıştırıcı görüntülenen ölçüm aralığının çok dışında bulunan işaretler tarafından aşırı yüklenmeye uğrayabilir. Bu şekilde üretilen gürültü bileşenleri (daha yüksek harmonikler) görüntülenmesi için seçilen ölçüm aralığına bağlı olarak görüntülenene spektrumu bozabilir.

Eğer spektrum analizörün giriş bölümünde bir dar bant izleme ön seçicisi var ise analizörün görüntülenene spektrumun dışarısındaki işaretler tarafından aşırı yüklenmesi engellenir. Eğer giriş frekans aralığının seçilmiş olan küçük bir bölümü görüntüleniyorsa, ilk karıştırıcı sadece görüntülenene spektrumun içerisindeki veya yakınındaki işaretler tarafından aşırı yüklenebilir.

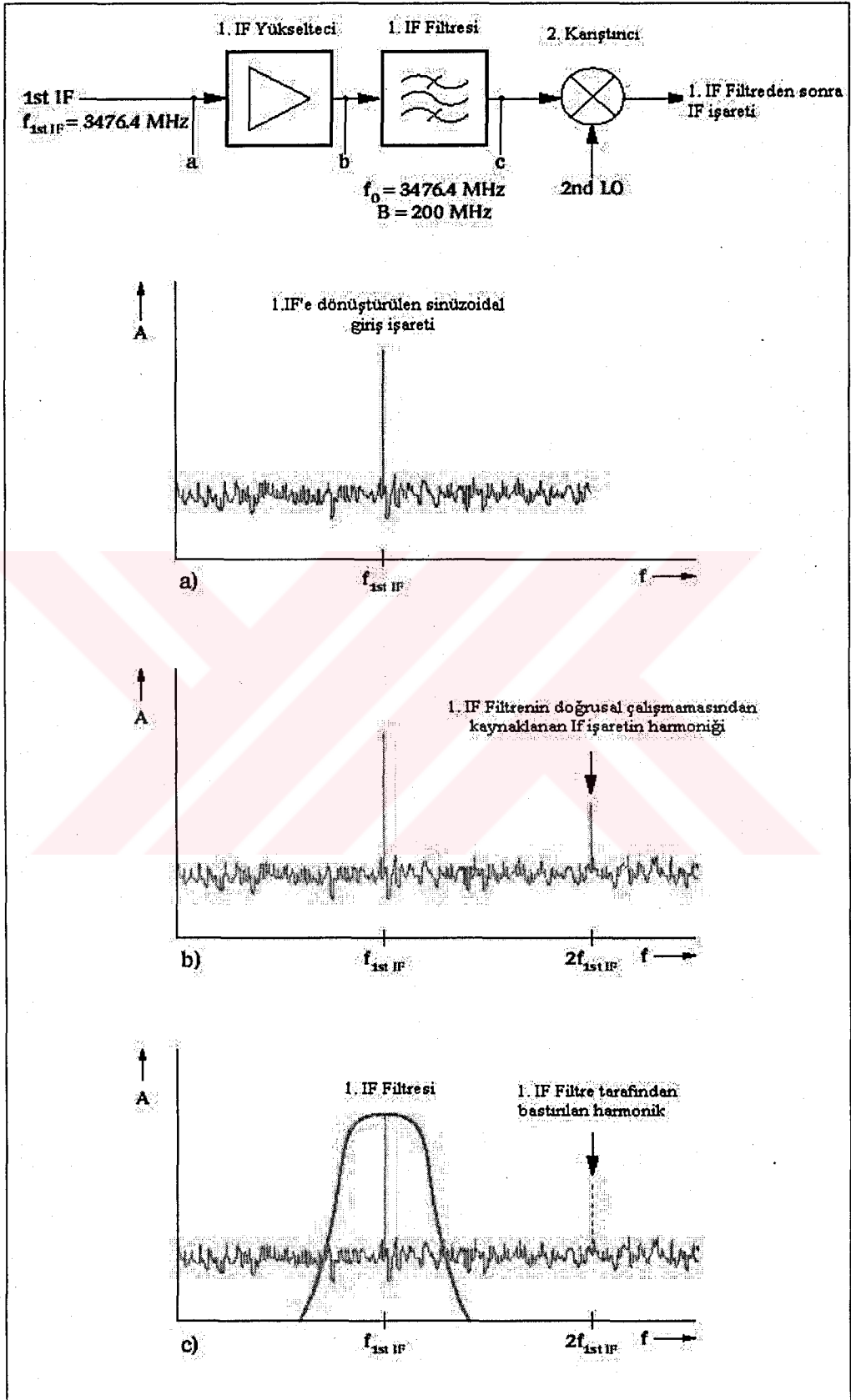
2.5.4.1. Çözünürlük filtresi aracılığı ile IF işaret işleme

İlk karıştırıcı katı, IF yükselteçler ve dönüşüm aşamaları gibi analog işaret işleme aşamaları tarafından takip edilir. Bu aşamalar, sadece görüntülenene spektrumun içerisinde ve civarında bulunan büyük genlikli işaretler tarafından aşırı yüklenebilirler. Görüntülenene spektrumun dışarısındaki işaretler, alt dizisel sıralanmış IF filtreleri tarafından ilk dönüşüme uğradıktan sonra, ilgilenilen aralıkta yeterli büyüklükte frekans boşluğu olması durumunda bastırılırlar (Şekil 2.11).

Birinci ve ikinci IF aşamalarında IF filtresi genellikle geniş bantlıdır. Bu yüzden sıkıştırma için gerekli frekans boşluğu çok geniş olabilir. Ayrıca 1. IF filtresinin doğrusal çalışmamasından kaynaklanan IF işaretine ait harmoniklerde şekil 2.12'de görüldüğü gibi bastırılırlar.



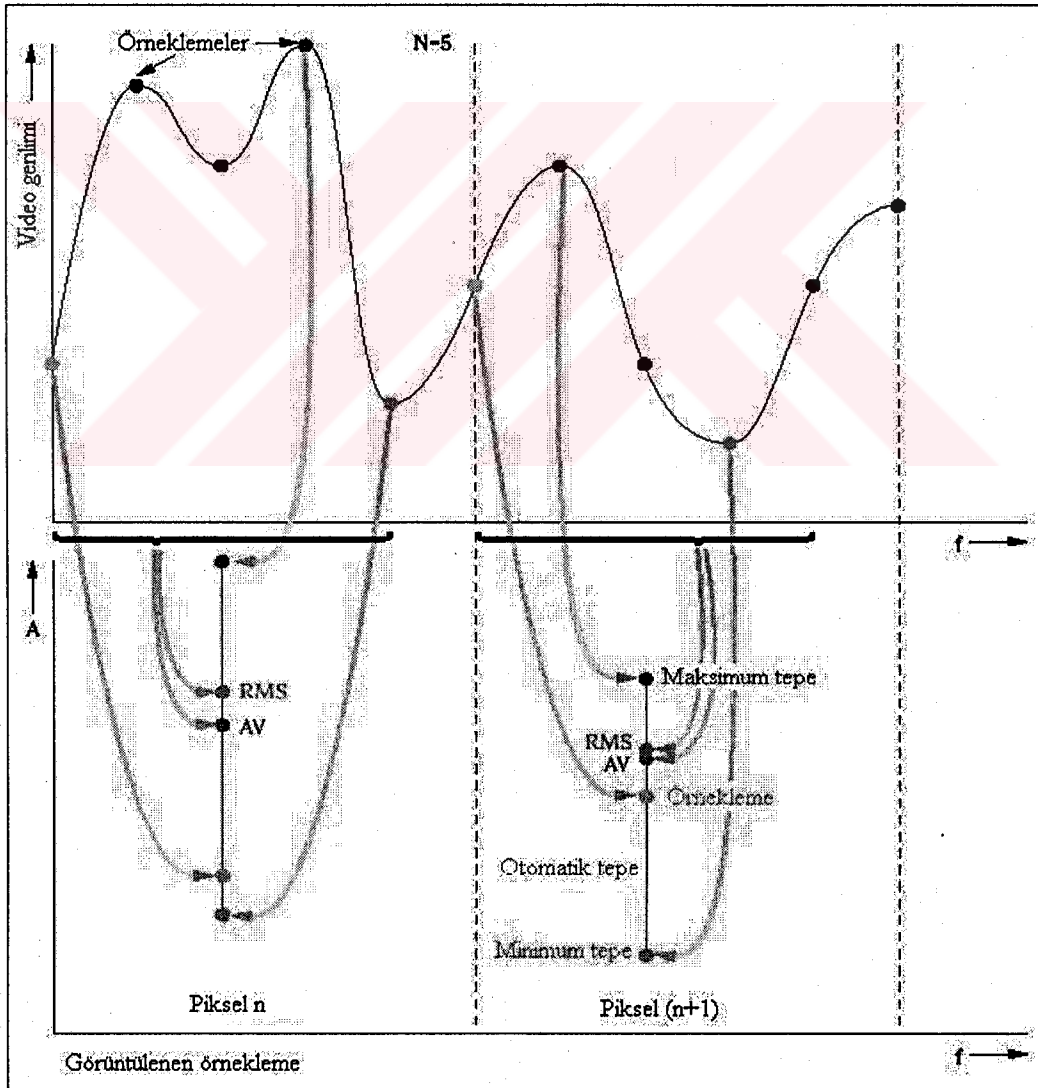
Şekil 2.11. 1. IF işaretindeki gürültü bileşenlerinin 1. IF filtre tarafından bastırılması



Şekil 2.12. IF işaret işleme kademelerinde üretilen gürültünün bastırılması

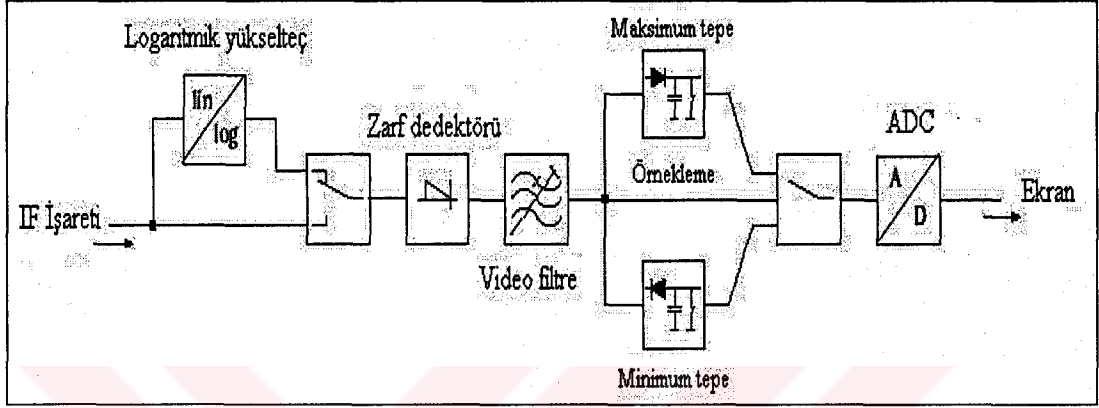
2.5.5. Dedektörler

Spektrum analizörlerde, lokal osilatörün değişim adımları çözünürlük bant genişliğine bağımlı olduğu gibi, görüntülenen ölçüm değerleri de örnekleme hızına ve her bir piksel için örneklenen noktalara bağımlıdır. Örnekleme noktaları işaretin örnekleme aralığındaki maksimum, minimum yada ortalama değer gibi özel konumlarından oluşturulurlar. Örnekleme aralığındaki bu özel konumların değerlerini algılayan dedektörler mevcuttur. Spektrum analizörler minimum tepe, maksimum tepe otomatik tepe ve örnekleme dedektörlerine sahip olabilirler. Dedektörlerin çalışma prensipleri Şekil 2.13’da verilmiştir.



Şekil 2.13. Kullanılan dedektör tipine bağlı olarak örnekleme noktasının seçimi

Bu dedektörler Şekil 2.14'de gösterildiği gibi analog devreler ile gerçekleştirilebilirler. Şekilde, ağırlıklandırılmış video işareti dedektörün çıkışında örneklenmiştir. Ancak spektrum analizörlerde, dedektörler sayısal olarak gerçekleştirilir. Böylelikle video işareti dedektörlerin başında örneklenir. Spektrum analizörlerde genel olarak 5 farklı dedektör tipi kullanılmaktadır.



Şekil 2.14 Dedektörlerin analog gerçekleştirilmesi

2.5.5.1. Maksimum tepe dedektörleri

Maksimum tepe dedektörleri işaretin en yüksek değerini algılar. Her bir örnekleme aralığındaki en yüksek seviyeye sahip olan değer örnekleme noktası olarak seçilir ve görüntülenir. Çok düşük çözünürlük bant genişliğinde (ölçüm aralığı/RBW \gg frekans eksenini üzerindeki piksellerin sayısı), geniş ölçüm aralıkları görüntülenmesi sırasında, giriş işaretlerinin hiçbiri kaybolmaz. (Bu sebeple, özellikle EMC ölçümleri için kullanılırlar.)

2.5.5.2. Otomatik tepe dedektörleri

Otomatik tepe dedektörleri maksimum ve minimum değerlerin eş zamanlı olarak görüntülenmesini sağlarlar. Maksimum ve minimum değerler ölçülerek bulunur ve şekil 2.13'de görüldüğü gibi dikey bir çizgiyle bağlı olarak genlik seviyeleri görüntülenir.

2.5.5.3. Örnekleme dedektörü

Bu dedektör, IF zarfında bulunan her piksel için bir değer örnekler. Yani Şekil 2.13'de görülen her bir pikselin oluşturulması için bölümlere ayrılmış örnekleme değerlerinden sadece bir değer seçer. Eğer görüntülenecek ölçüm aralığı çözünürlük bant genişliğinden çok daha büyük ise (ölçüm aralığı/RBW > frekans eksenindeki piksellerin sayısı), giriş işaretleri doğru olarak tespit edilemez. Aynı durum lokal osilatörün çok geniş ayarlama adımlarına sahip olarak seçilmesi durumunda da mevcuttur (Şekil2.13). Bu durumda, işaretler görüntülenmez yada doğru genlik seviyeleri elde etmek mümkün olmaz.

2.5.5.4. RMS detektörü

RMS Dedektörü (Root Mean Square) herbir piksel ile ilişkilendirilmiş olan örnekleme izin, her pikseli için güç hesaplar. Sonuç toplamda, pikseller tarafından oluşturulan ölçüm aralığı (span) içerisindeki işaretin gücüne karşılık gelir. RMS dedektör çıkışı denklem 2.10'de verilmiştir.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N v_i^2} \quad (2.10)$$

V_{rms} = Gerilimin RMS değeri, V

N = İlgili piksel ile ilişkilendirilmiş örnekleme sayısı

v_i = zarfın örnekleme, V

Referans direnci R 'de harcanan güç ise denklem 2.11'de verilmiştir.

$$P = \frac{V_{RMS}^2}{R} [\text{Watt}] \quad (2.11)$$

2.5.5.5. Ortalama değer (AV) dedektörü

Ortalama değer dedektörü görüntülenen izin her pikseli için doğrusal (lineer) ortalamayı eşitlik 2.12'deki gibi hesaplar. Bu hesaplama için doğrusal seviye skalası üzerinde zarfi oluşturan örnekleme lineer seviye ölçeğinde olması gereklidir.

$$V_{AV} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N v_i \quad (2.12)$$

- V_{AV} = N adet örneğin ortalaması, V
 N = İlgili piksel ile ilişkilendirilmiş örnekleme sayısı
 V_i = İşaretin örnekleme değerleri, V

RMS dedektöründe olduğu gibi, R direncinde harcanan güç eşitlik 2.13 ile bulunur.

$$P = \frac{V_{AV}^2}{R} \quad (2.13)$$

2.5.5.6. Yarı-Tepe(Quasi Peak) dedektörü

Bu tip tepe dedektörleri girişim ölçümü uygulamaları ve dolma-boşalma süreleri gibi tanımlanmış ölçümler de kullanılır. ADC'nin sabit örnekleme hızı ile alınan örnekler, tarama zamanının uzunluğuna göre artan sayıda piksellere atanırlar. Görüntülenen işaret izi üzerindeki etki, giriş işaretinin ve seçilen dedektörün türüne bağlıdır. Bunlar, bölüm 3.8.2'de anlatılmıştır.

2.5.5.1.1 Değişik türdeki giriş işaretlerinin görüntülenmesi ve genlik faktörü

Giriş işaretinin özelliklerine bağlı olarak, kullanılan farklı dedektörler, kısmen farklı ölçüm sonuçlarını elde edilmesine neden olabilirler. Spektrum analizörün giriş işaretinin frekansına ayarlandığını farz edilirse (ölçüm aralığı= 0 Hz), IF işaretinin zarfı ve dolayısıyla yeterince yüksek işaret/gürültü oranlı bir sinüzoidal giriş işaretinin video gerilimi sabittir. Bu nedenle, görüntülenen işaretin seviyesi, bütün örnekleme örneklerinin aynı seviyede olduğu durumda ve ortalama ile RMS değerinin bağımsız örnekleme değerlerinin seviyelerine karşılık geldiği durumlarda seçilen dedektörden bağımsızdır.

Bununla birlikte, bu durum, içinde anlık gücün zaman zaman değiştiği ses veya ses benzeri işaretler gibi düzenli işaretlerde değişiktir. Bu durumda IF işaret zarfının

ortalama ve RMS değerleri gibi maksimum ve minimum anlık seviyeleri de değişiktir.

Bir işaretin gücü genel olarak denklem 2.14'daki ifade ile hesaplanır:

$$P = \frac{1}{R} \cdot \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{T} \cdot \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} v^2(t) dt \right) \quad (2.14)$$

veya belirli gözlemleme aralığı T için,

$$P = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{T} \cdot \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} v^2(t) dt \quad (2.15)$$

Verilen gözlemleme süresi T'de, anlık güç için bir tepe değer de bulunabilir. Tepe değer ve güç arasındaki ilişki eşitlik 2.16'de verilmiş olduğu gibi genlik faktörü (CF) olarak ifade edilir.

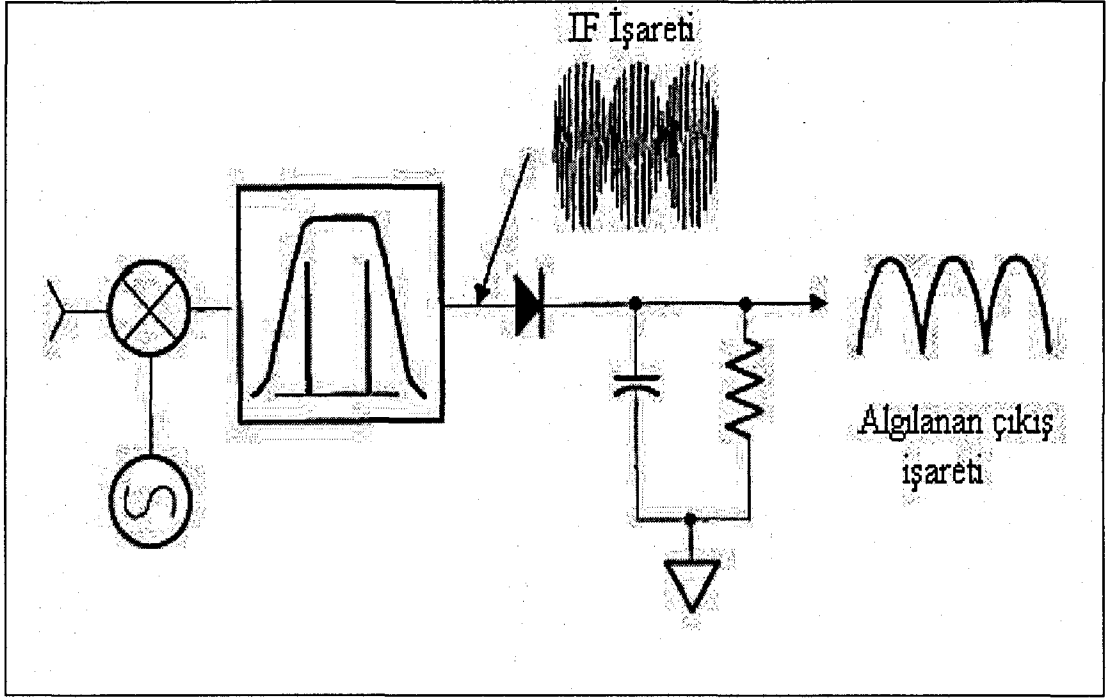
$$CF = 10 \cdot \log \left(\frac{P_s}{P} \right) \quad (2.16)$$

CF = Genlik (crest) Faktörü, dB

Ps = T gözlemleme süresinde anlık gücün tepe değeri, W

2.5.6. Zarf detektörü

Spektrum analizörler temel olarak, IF işaretlerini video işaretlerine zarf detektörleri ile dönüştürürler. En basit haliyle zarf detektörü, bir diyodu takip eden paralel RC kombinasyonu ile oluşturulan devredir (Şekil 2.15). IF katının çıkışı dedektöre uygulanır.

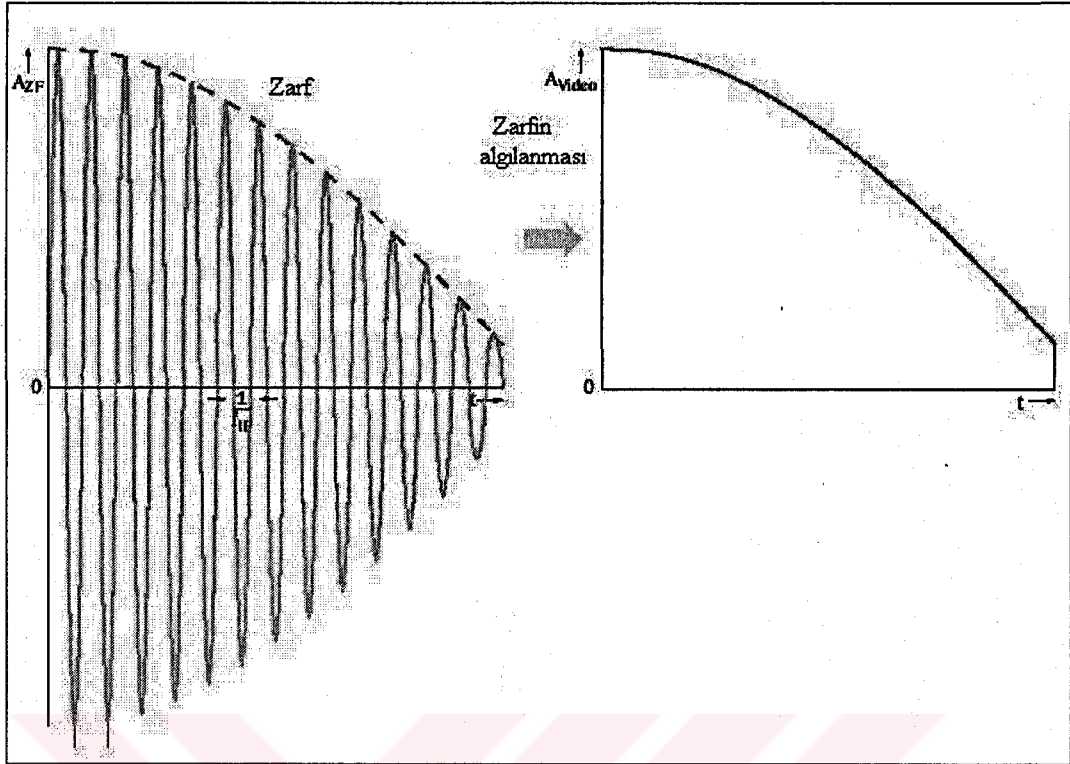


Şekil 2.15. Zarf dedektörü

Detektörün zaman sabitlerinde kapasitör boyunca gerilim, IF işaretinin tepe değerlerine eşittir. Detektör IF işaretinin zarfındaki olası değişimleri, yani gelen işaretin tepe noktalarının genlik değişimlerini takip eder. Fakat IF sinüs eğrisinin anlık değerlerini izlemez. Ölçümlerde genellikle giriş işaretinin bağımsız spektral bileşenlerinin her birinin çözülmesine yeterli darlıkta bir çözünürlük bant genişliği seçilir.

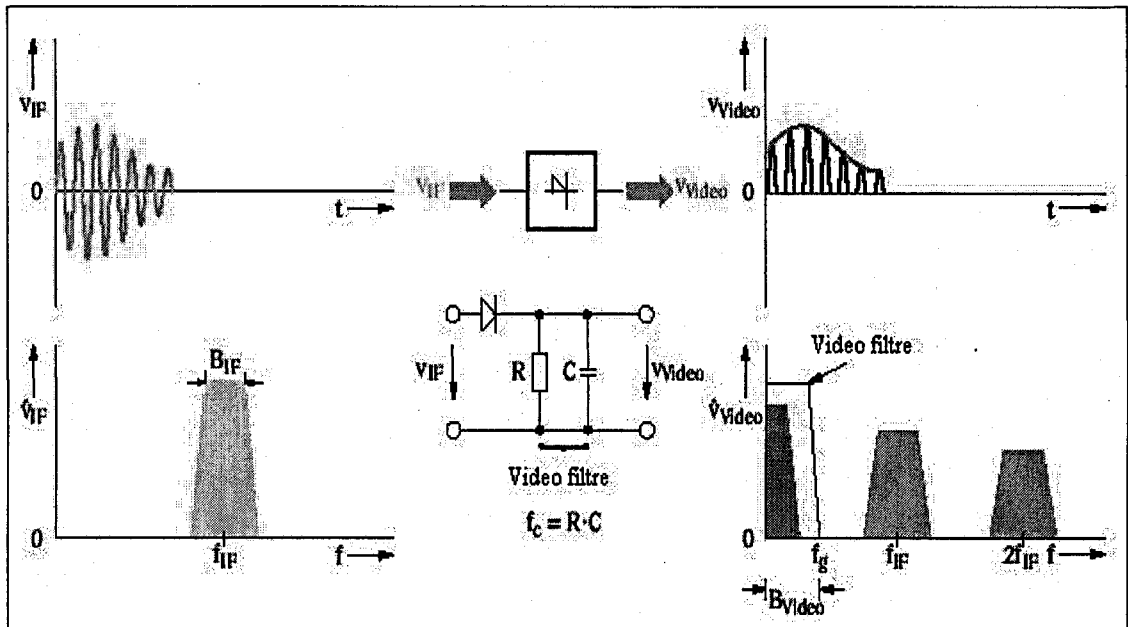
2.5.7. Video gerilimi ve video filtreleri

Giriş işaretinin genlik seviyesi bilgisi, IF işaretinin genliğinde saklanır (Şekil 2.16).



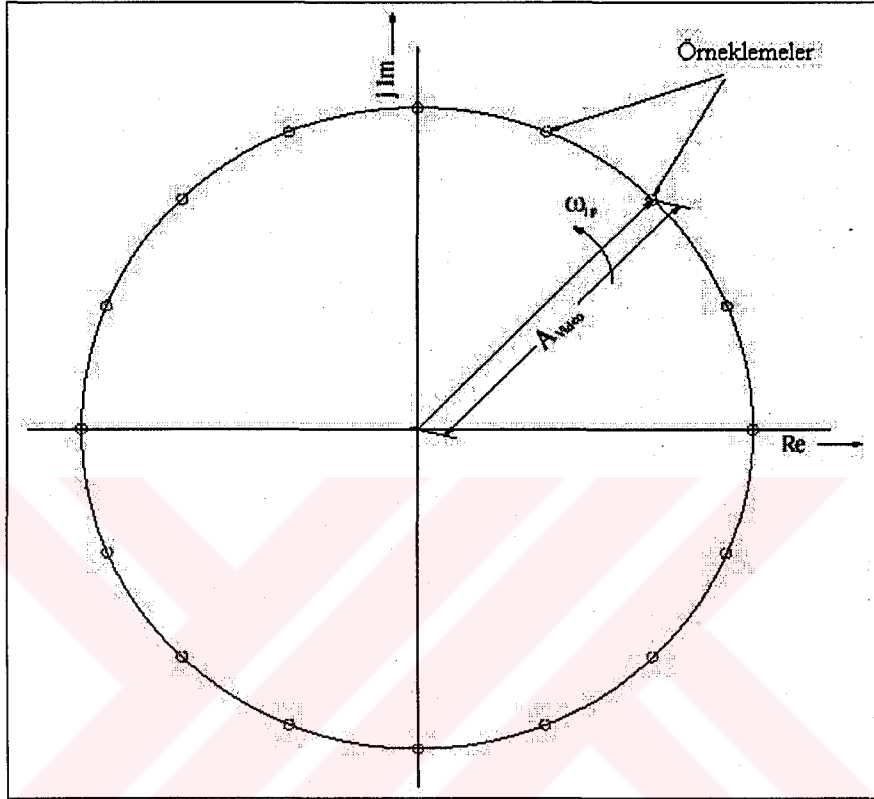
Şekil 2.16. IF işaretinin zarfının belirlenmesi

Bu işlem, AM işaretleri demodüle etmek için kullanılan analog zarf dedektörlerinin devre düzenlemelerine benzemektedir (Şekil 2.17). IF işareti algılanır ve yüksek frekanslı işaret bileşenleri alçak geçiren bir filtre tarafından elenir. Video gerilimi bu devrenin çıkışında kullanıma hazır hale gelir.



Şekil 2.17. Zarf dedektörü ile IF işaret zarfının elde edilmesi

Eğer IF işaretinin, sinüzoidal bir işaret olarak kompleks düzlemdeki gösterimi incelenirse; IF işaretinin büyüklüğü, ω_{IF} açısal hızı ile dönen bu vektörün uzunluk değerine eşittir.

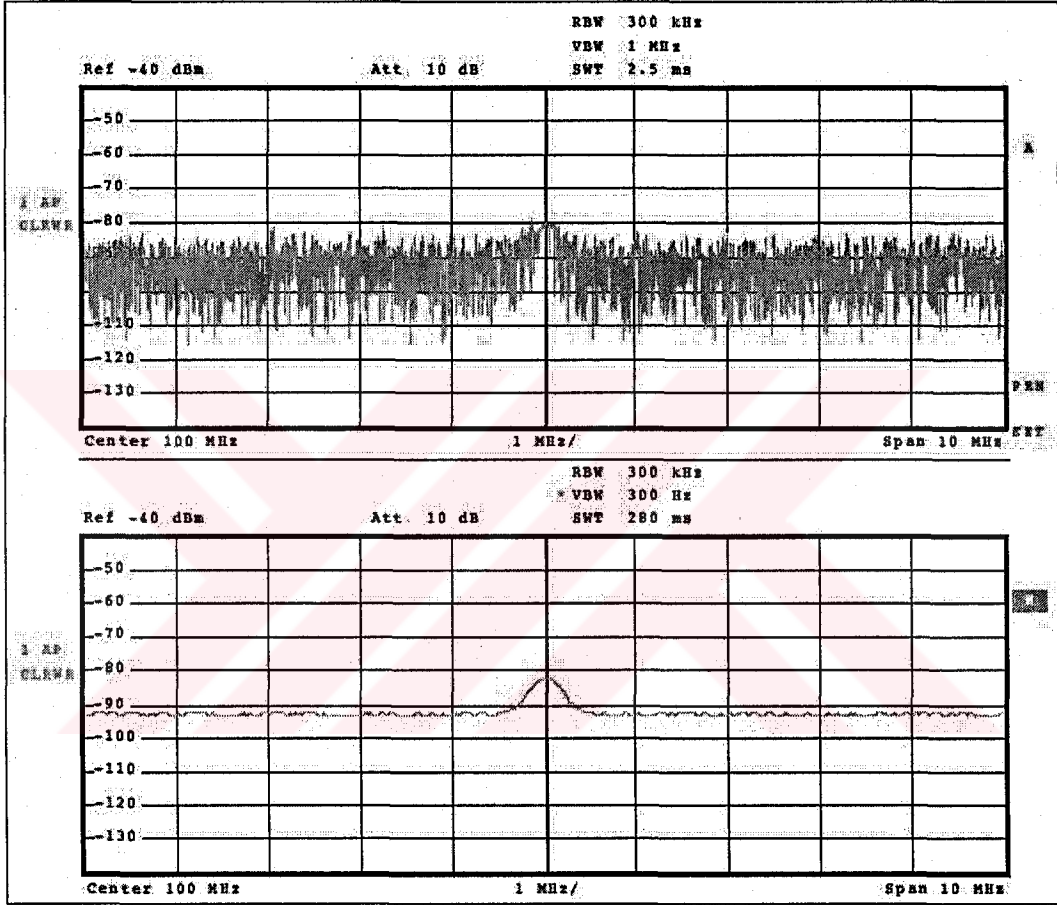


Şekil 2.18. Kompleks düzlemde sinüzoidal işaretin gösterimi

Zarf dedeksiyonu sırasında giriş işaretinin faz bilgisi kaybolur ve görüntüde sadece genlik bilgisi kalır. Zarf dedektörü ile FFT analizörü arasındaki temel farklardan biri de budur. Zarf dedektörünün dinamik aralığı spektrum analizörün dinamik aralığını belirler. Günümüzde analizörlerde yaklaşık 100 dB'lik bir dinamik aralık bulunmaktadır.

Zarf dedektörünün ardından, video bant genişliğini (VBW) tanımlayan bir video filtresi gelmektedir. Video filtresi, video işaretini gürültüden kurtarmak ve sonradan görüntülenen işareti düzeltmek için kullanılan bir alçak geçiren filtredir. Genellikle video filtreleri sayısal olarak çalışırlar. Bu yüzden video işareti, bir ADC yardımıyla zarf dedektörü çıkışında örneklenir ve genliği kuantalanır.

Çözünürlük bant genişliğine benzer şekilde, video bant genişliği de izin verilen maksimum tarama hızını etkiler. Video bant genişliği ayarlamalarında kullanılan dedektör çeşidi de mutlaka hesaba katılmalıdır. Yüksek değerli işaret/gürültü oranına sahip sinüzoidal işaretlerin ölçümleri için, genellikle çözünürlük bant genişliğine eşit bir video bant genişliği seçilir.



Şekil 2.19. Geniş (üst) ve küçük (ekranın alt yarısı) video bant genişliği değerleri ile görüntülenen, düşük S/N oranına sahip sinüzoidal işaret

Gürültü ölçümlerinde, stabil ve tekrarlanabilir sonuçlarını elde edebilmek için, dar bir video bant genişliği seçilmelidir.

2.6. İşaret İzinin İşlenmesi

2.6.1. Çeşitli ölçümler üzerinden ortalama alınması

Spektrum analizörler ile çeşitli ölçümlerde görüntülenen işaretlerin örnek değerleri üzerinde ortalama alma olanağı vardır (trace average). Bu tür bir ortalama metodu, dar bantlı video filtreleri kullanırken elde edilen sonuçlardan daha farklı ölçüm sonuçları verir.

Kaydedilen izin doğrusal mı yoksa logaritmik seviye skalasına göre mi görüntülediğine bağlı olarak, ortalama için doğrusal veya logaritmik örneklemeler kullanılır. Görüntüleme moduna bağlı olarak ortalaması alınan örnek değerleri uygun şekilde değiştirilir.

Çeşitli ölçümler üzerinden ortalama yapılması durumunda, görüntülenen gürültü seviyeleri maksimum tepe, minimum tepe ve örnekleme dedektör tiplerine göre farklı değerler verir. Maksimum ve minimum değerlerden elde edilen ortalama değer, video filtrenin kullanımıyla, örneklemeler öncelik derecelerine göre ortalamaları alınır ve bu sayede aynı değerlere ulaşılır.

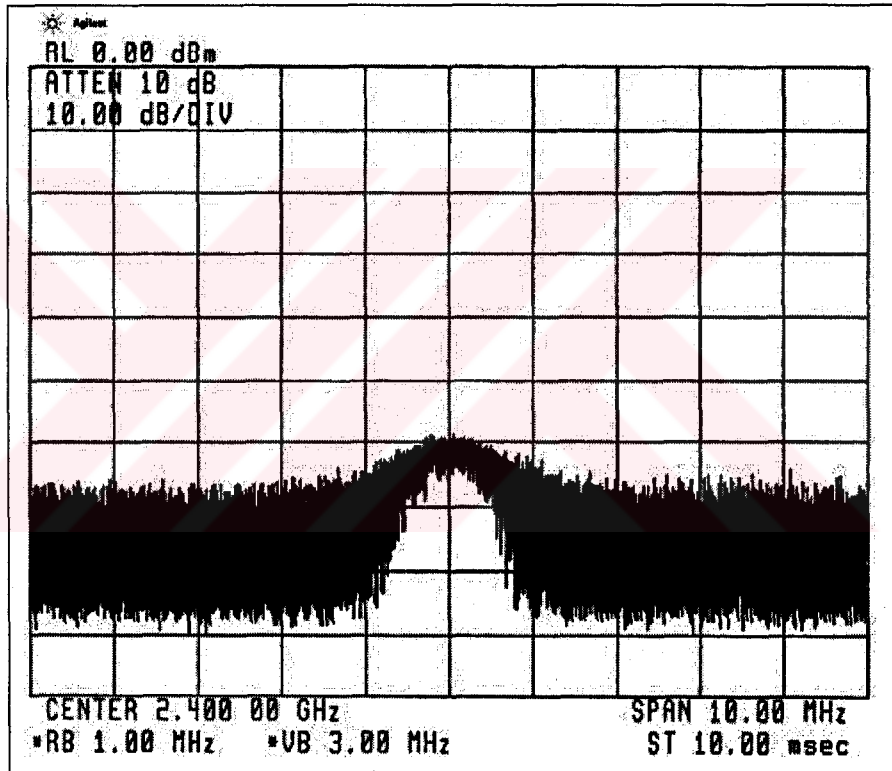
Örnekleme dedektörü, ortalama gürültü seviyesini verir. Ortalama değer dedektörü ile olduğu gibi, doğrusal seviye görüntüleme ve geniş video bant genişliği ($VBW \geq 10$ RBW) ile doğru ortalama elde edilir.

Otomatik tepe dedektörü kullanırken, farklı izler üzerinden ortalama alınması tavsiye edilmemektedir. Çünkü sadece maksimum ve minimum seviyeler görüntülenmektedir. İz ortalama fonksiyonu aktif hale getirildiği zaman, genellikle örnekleme dedektörüne geçiş yapılır.

RMS dedektörü kullanılırken, iz ortalaması fonksiyonu ne doğrusal ne de logaritmik seviye modunda kullanılmaz.

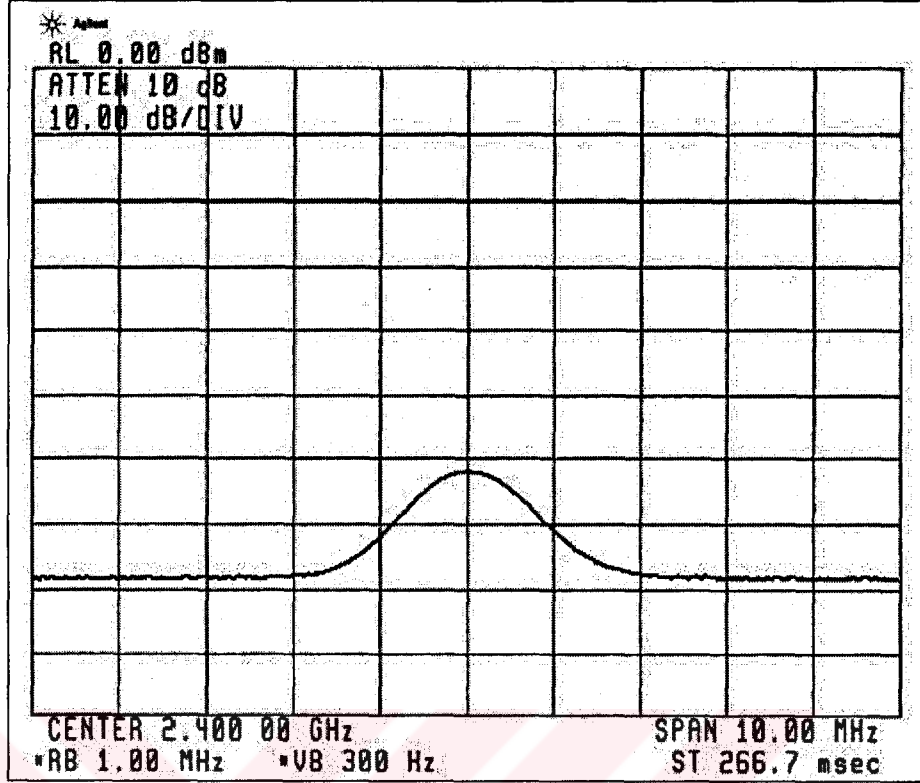
2.6.2. Video filtreleme

Spektrum analizörler işaretler ile birlikte kendi iç gürültülerini de gösterirler (Şekil 2.20). Bu gürültü etkisini azaltmak için, genellikle görüntünün ortalaması alınır yada ekran görüntüsü düzgünleştirilir (Şekil 2.21) Spektrum analizörlerde bu amaçla kullanılan bir video filtresi bulunur. Video filtresi alçak geçiren bir filtredir. Detektörü izler ve sistemde yatay gürültüye yol açan video devrelerinin bant genişliğini belirler.



Şekil 2.20. Görüntülenen işaret ve gürültü

Video filtresinin kesme frekansı, seçilen çözünürlük filtresinin IF frekansına eşit yada daha düşük olacak şekilde azaltıldıkça, video sistemi IF katundan geçen zarfın işaretlerinin hızlı değişimlerini takip edemez. Sonuçta ortalaması alınmış yada düzleştirilmiş bir çıkış görüntüsü elde edilir.



Şekil 2.21. Filtreleme sonrası ekranda görülen işaret

Bu etki en fazla ölçüm gürültüsünde dikkat çeker. Özellikle geniş değerli çözünürlük bant genişliği kullanılıyorsa, video bant genişliği değeri düşürüldükçe gürültünün tepeden tepeye değişimi azalır.

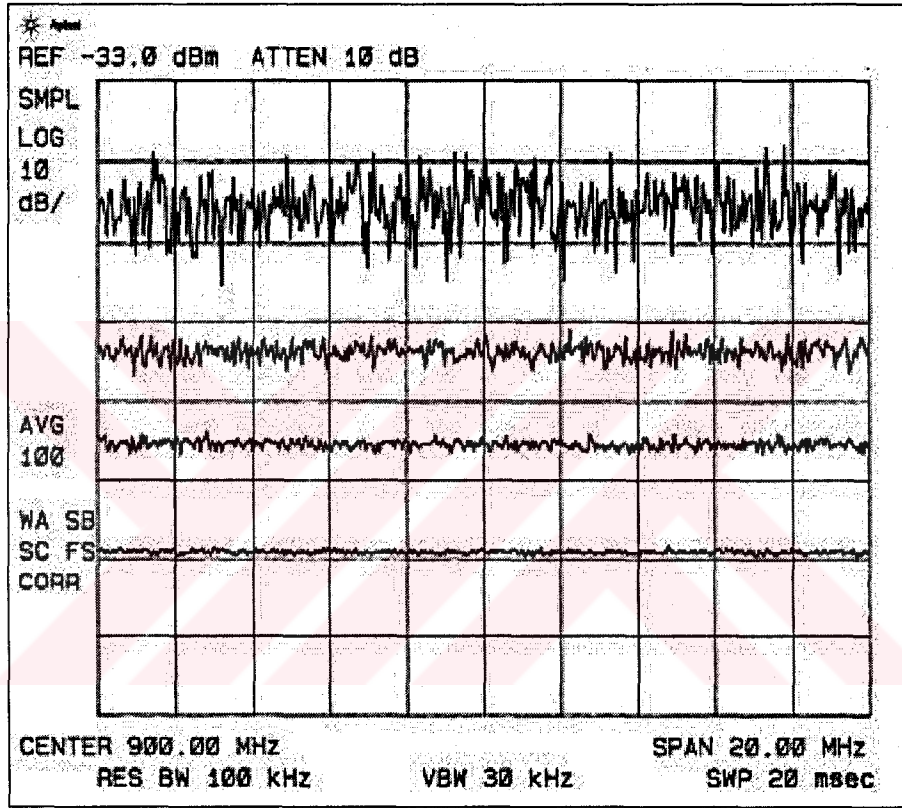
2.6.3. Video ortalaması

Sayısal görüntüleme ile çalışan analizörler genellikle görüntüyü düzeltmek için bu yöntemi kullanırlar. Bu durumda, ortalama iki yada daha fazla noktadan noktaya süpürme ile sağlanır. Her bir görüntü noktasında, her bir veri daha önce ortalaması alınan veri ile ortalananır.

$$A_{avg} = [(n-1)/n] A_{\text{önceki avr}} + (1/n)A_n \quad (2.17)$$

- | | | |
|-------------------------|---|------------------------------|
| $A_{\text{önceki avr}}$ | = | Önceki süpürmenin ortalaması |
| A_{avg} | = | Yeni ortalama |
| A_n | = | O andaki süpürmenin değeri |
| n | = | O andaki süpürmenin numarası |

Böylelikle çıkış, bir çok süpürmenin ortalamasına yakınsar. Video filtresinde olduğu gibi,ortalamanın ve düzleştirmenin derecesi ile ortalamanın olduğu süpürmenin sayısını değiştirerek değişiklik yapılabilir. Şekil 2.22 değişik süpürme zamanlarının video ortalamasına etkisini göstermektedir. Video ortalamasının süpürme zamanına hiç etkisi olmamasına rağmen, belli bir ortalama değerine ulaşmak için geçen zaman, gerekli süpürme zamanı sebebi ile video filtrelemesi için geçen zamanla aynıdır.

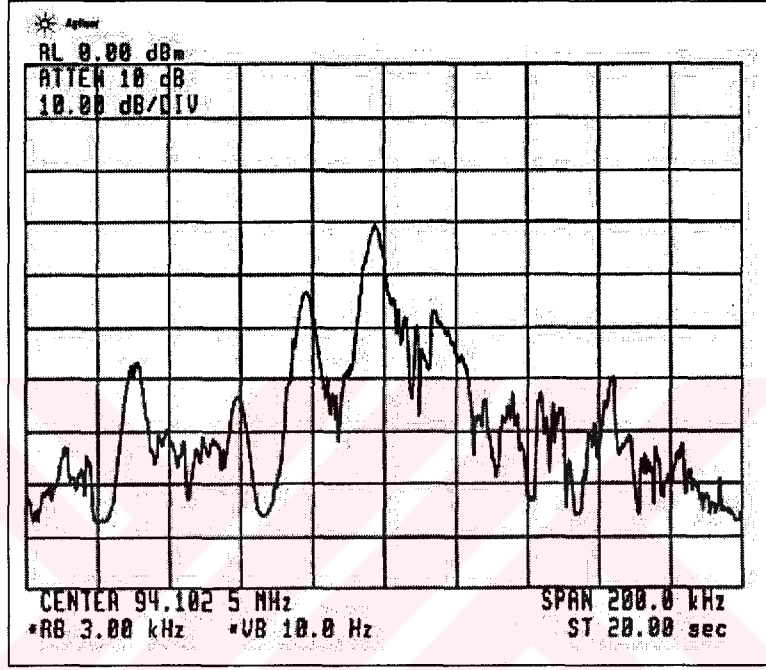


Şekil 2.22. 1, 5, 20, 100ms'lik süpürme sürelerinde video(sayısal) ortalama etkisi

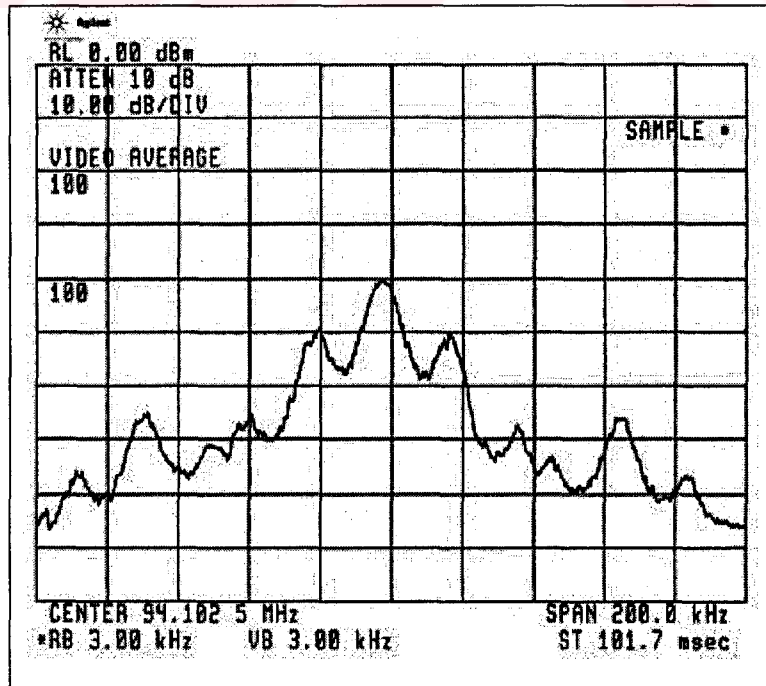
Hangi görüntü düzeltmesinin seçildiğinin çoğu zaman bir önemi yoktur. Eğer işaret gürültülü ise ya da gürültüye çok yakın düşük mertebeli sinüzoidal bir işaret ise, video filtrelemesi ve video ortalaması ile aynı çözüm elde edilir.

Öte yandan, iki yöntem arasında belirgin bir farklılık vardır. Video filtrelemesi gerçek zamanda ortalama sağlanırken, süpürme işlemi devam ederken ortalamanın yada düzleştirmenin her bir noktada oluşturduğu etki tam olarak görülebilir.

Sonuç olarak, iki ortalama metodunun belirli bir işarete uygulanması sırasında tümüyle farklı sonuçlar elde edilebilir. Örneğin, zamanla spektrumu değişen frekans modülasyonlu işaret gibi video filtrelemesinde her bir süpürmede değişik ortalama verir. Diğer yandan, eğer süpürme adımları boyunca video ortalaması yöntemi uygulanırsa, gerçek değerlerin ortalamasına çok daha yakın bir ortalama elde edilir (Şekil 2.23a,b).



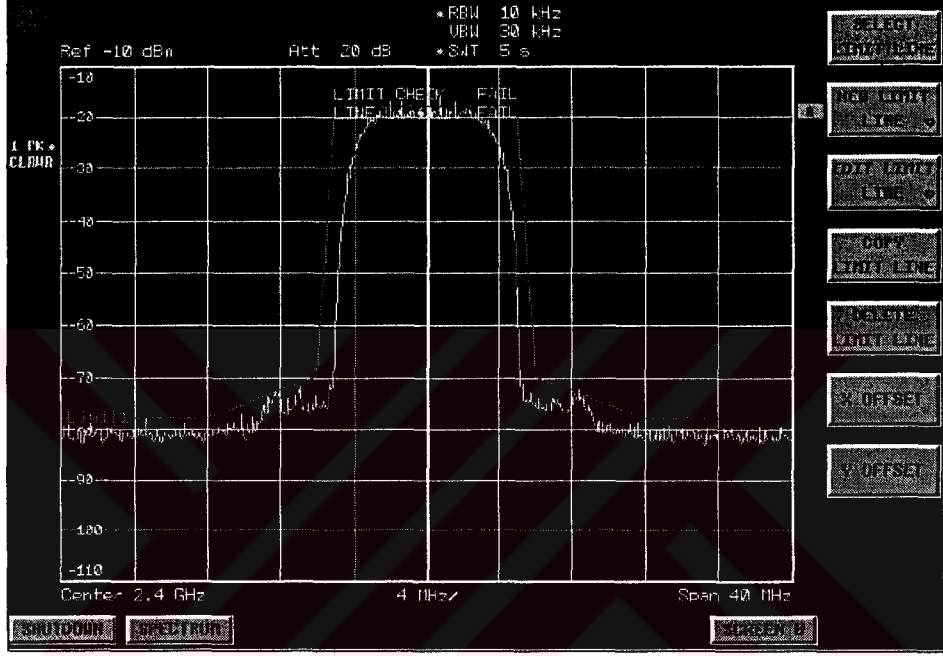
Şekil 2.23. a) Video filtreleme (Analog)



Şekil 2.23. b) Video ortalama (Sayısal)

2.8. Tolerans Maskeleri (limit çizgileri)

Test edilen cihaza bağlı limit değerleri kolaylıkla tolerans maskelerinin yardımıyla kontrol edilir. Üretimde kullanımı kolaylaştırmak için, kaydedilmiş izler belirlenmiş limit değerlerinin aşım aşmadığı otomatik olarak kontrol edilir ve sonuç bir “geçti” yada “kaldı” mesajı ile belirtilir.



Şekil 2.25. Limit çizgilerinin yardımı ile ölçümün değerlendirilmesi

2.9. Parametre Bağımlılıkları

Spektrum analizörlerde ölçüm hatalarını engellemek için, normal çalışma modunda ölçüm parametreleri birbirleri ile uygunlaştırılır. Yani, bir ayarın değiştirilmesi üzerine diğer tüm bağımlı parametreler otomatik olarak buna uygun değerlere getirilir. Parametreler, bununla birlikte, kullanıcı tarafından bağımsız olarak da ayarlanabilir. Bu tür durumlarda farklı ayarların ilişkilerinin ve etkilerinin bilinmesi önem taşır.

İzin verilen maksimum süpürme hızı, IF ve video filtrelerinin geçiş zamanı tarafından sınırlandırılmıştır. Eğer video bant genişliği çözünürlük bant genişliğinden

daha geniş ise geçiş süresinin hiçbir etkisi yoktur. Bu durumda, gerekli geçiş zamanı, çözünürlük bant genişliğinin karesi ile ters olarak yükselir (Denklem 2.19).

$$T_{SWEEP} = k \cdot \frac{\Delta f}{B^2_{IF}} \quad (2.19)$$

$T_{sweep}[s]$	=	Verilen ölçüm aralığı ve çözünürlük bant genişliği için gerekli minimum tarama süresi
$B_{IF} [Hz]$	=	Çözünürlük bant genişliği
$\Delta f [Hz]$	=	Görüntülenecek ölçüm aralığı
k	=	Oransallık faktörü

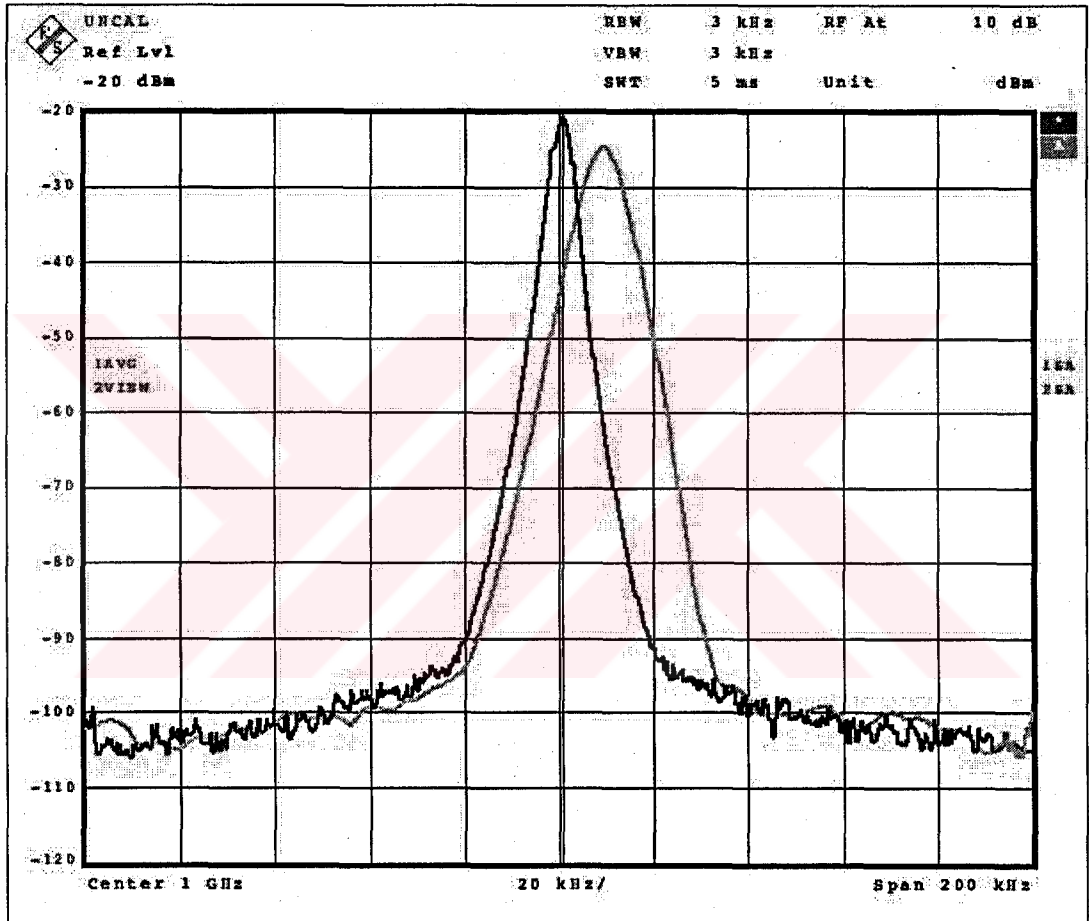
Oransallık faktörü k , filtrenin tipine ve izin verilen geçici tepki hatasına bağlıdır. Eğer video bant genişliği çözünürlük bant genişliğinden daha küçük ise, gereken minimum tarama süresi, video filtresinin geçici süresinden etkilenir. IF filtresine benzer bir şekilde video filtresinin geçiş zamanı, azalan bant genişliği ile birlikte artar. Video filtresi eğer analog bir şekilde gerçekleştirilirse genellikle 1.dereceden alçak geçiren veya bir basit RC devresinden oluşturulur. Bu sebeple video bant genişliği ve tarama süresi arasında doğrusal bir ilişki vardır. Bir “ n ” faktörü ile video bant genişliğini azaltmak, “ n ” kere uzun tarama süresi ile sonuçlanır.

Spektrum analizörlerin normal çalışma modunda kısa tarama sürelerinde, çözünürlük bant genişliğine, video bant genişliğine bağlı ölçüm hatalarını engellemek için, tarama süresi ve ölçüm aralığı uygunlaştırılır.

Çözünürlük bant genişliği otomatik olarak seçilen ölçüm aralığına uygunlaştırılır. Geniş ölçüm aralıklarında düşük çözünürlük bant genişliğine bağlı uzun tarama süreleri gibi durumlar engellenmiş olur. Spektrum analizörün kullanımı böylece daha kolay hale gelir. Ölçüm aralığı ve çözünürlük bant genişliği arasındaki oran kullanıcı tarafından ayarlanabilir.

Parametrelerin kısmi bağlaşımı da mümkündür. Örneğin çözünürlük ve video bant genişliklerinin manuel olarak ayarlanması ile, tarama süresi bu değerlere otomatik olarak adapte edilebilir.

Manuel ayarları kullanırken, eğer minimum tarama süresi sabit değil ise genellikle bir uyarı görüntüye gelir (Şekil 2.26 sol üst köşede UNCAL).



Şekil 2.26. Gereken minimum süpürme süresi sağlanamadığı durumda oluşan genlik kaybı (Genliği düşük olan işaret)

Spektrum analizörleri kullanırken, video bant genişliği, çözünürlük bant genişliği ile de uygunlaştırılabilir. IF bant genişliği değiştirilirken, video bant genişliği otomatik olarak bu değere adapte olur. Bağlaşırma oranı (çözünürlük bant genişliği ile video bant genişliği arasındaki oran) çalışırma moduna bağlıdır ve bu sebeple kullanıcı tarafından ayarlanmaktadır. Kullanıcının istediği değeri girebilme seçeneğine ilave olarak, aşağıdaki hazır seçeneklerde analizörlerde mevcuttur:

- Sine RBW/VBW = 0.3 den 1'e
- Pulse RBW/VBW = 0.1
- Noise RBW/VBW = 10

Standart ayarlarda, genellikle video bant genişliği seçilidir, bu yüzden maksimum ortalama, video filtresi ile gerekli tarama süresini yükseltmeden elde edilir. $k=2.5$ olan bir oransallık faktörü ile (Denklem 3.20), video bant genişliği en azından çözünürlük bant genişliğine eşit olmalıdır ($RBW/VBW= 1$). Eğer filtre sayısal olarak çalıştırılırsa, bir oransallık faktörü $k=1$ yukarıda tanımlanmış olduğu gibi uygun bir denkleştirme üzerinden elde edilebilir, ve gerekli olan minimum tarama süresi 2,5'luk bir faktör olarak azaltılabilir.

2.10 Aşırı Yükleme

Spektrum analizörü kullanırken, çok yüksek seviyeli giriş işaretleri ile aşırı yüklenmeyi engellemek için dikkatli olunmalıdır. Aşırı yükleme işaretin izi boyunca çeşitli noktalarda görünebilir. Bunu engellemek için, RF zayıflatıcı ve IF kazanç referans seviyesi doğru bir şekilde ayarlanmalıdır.

BÖLÜM 3. SPEKTRUM ANALİZÖRLERİN PERFORMANS ÖZELLİKLERİ

3.1. Doğal Gürültü (Inherent Noise)

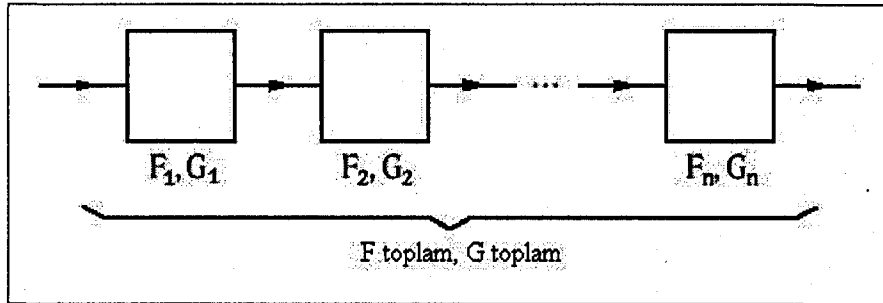
Doğal gürültü hem alıcıları, hem de spektrum analizörleri karakterize eden ısı gürültü olarak ifade edilebilir. Doğal gürültüye bağlı olarak giriş işaretinin işaret/gürültü oranı azalır. Bu yüzden, doğal gürültü, bir spektrum analizörün duyarlılık ölçüsüdür ve işaretin algılanması için gereken minimum genlik seviyesi üzerinde etkisi vardır. Alıcıların doğal gürültüleri değişik yollarla tanımlanabilir ve genellikle gürültü faktörü yada gürültü elemanı olarak ifade edilirler. İki uçlu bir sistemin gürültü faktörü F , sistemin girişindeki işaret/gürültü oranının, sistemin çıkışındaki işaret/gürültü oranına oranıdır (Denklem 3.1). Gürültü faktörünün dB olarak ifadesi ise Denklem 3.2’de verilmiştir.

$$F = \frac{S_1 / N_1}{S_2 / N_2} \quad (3.1)$$

S_1 / N_1 = Sistem girişinde işaret/gürültü oranı

S_2 / N_2 = Sistem çıkışında işaret/gürültü oranı

$$NF = 10 \cdot \log F \quad (3.2)$$



Şekil 3.1. Ardışıl birden fazla gürültü elemanına sahip sistemler

Kaskat sistemlerin toplam gürültü faktörü F_{toplama} ,

$$F_{toplam} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 \cdot G_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{\prod_{i=1}^{n-1} G_i} \text{ [dB]} \quad (3.3)$$

F_i = Bağımsız bölümlerin gürültü faktörü

G_i = Bağımsız bölümlerin kazancı

$$F = 10^{\frac{a}{10}} \text{ ve } NF = a \quad (3.4)$$

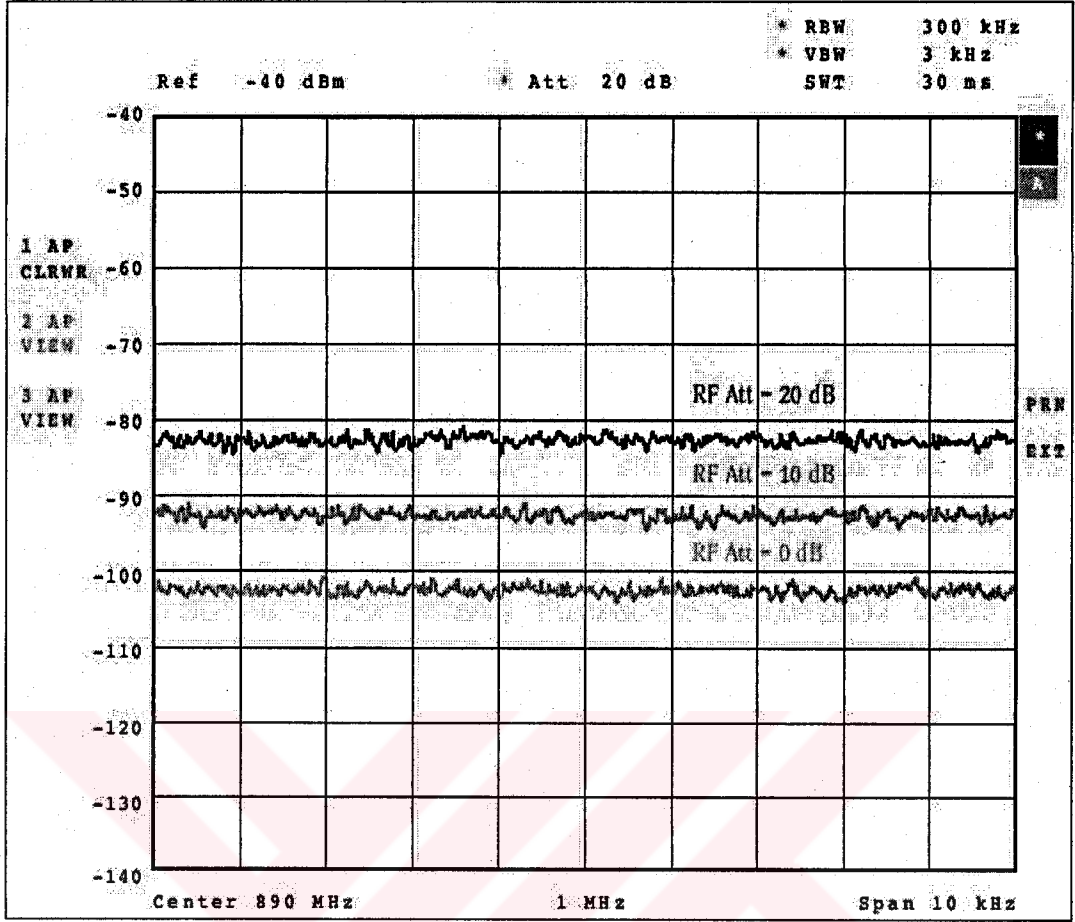
NF = Sistemin gürültü elemanı

a [dB] = Sistemin zayıflaması,

Eşitlik 3.3 ilk bölümün gürültü faktörünün kaskat devrenin toplam gürültü faktöründe tamamen hesaba katıldığını gösterir. Zayıflatıcı spektrum analizörün girişine yerleştirilmiştir. (Pasif bölüm olduğundan gürültü faktörü eşitlik 3.4 ile hesaplanabilir.) Bu yüzden analizörün toplam gürültü faktörü, zayıflatıcı ayarlarına bağlıdır. Örneğin zayıflamayı 10 dB arttırmak, 10 dB daha yüksek toplam gürültü elemanı değeri verir. Maksimum duyarlılık, zayıflatıcının 0 dB'ye ayarlanmasıyla elde edilir.

Spektrum analizörlerin duyarlılığı, “Görüntülenen Ortalama Gürültü Seviyesi” (DANL) olarak ifade edilir ve analizörün ekranından doğrudan okunabilen bir parametredir.

Alıcıda üretilen gürültü, bağımsız elemanların gürültüsünü içermeyen ısı gürültüdür. Belirli seviye aralığında, oluşan gürültü olasılığı Gaussian dağılımı ile ifade edilmektedir..



Şekil 3.2. Görüntülenen Gürültü Seviyesine RF Zayıflatıcının Etkisi

Görüntülenen gürültü işareti zarf dedektöründe yakalanan seviyeye karşılık gelir. Buna uygun işaret gücü, alıcının gürültü bant genişliğinin üzerine gürültü yoğunluğunun eklenmesi ile hesaplanabilir. Bu alıcı bant genişliği, dedektörden sonraki her aşamaya ait olabilir. Spektrum analizörlerde bu bant genişliği IF filtresinin bant genişliği üzerinden belirlenir. Onun için, görüntülenen gürültü seviyesi işaret bant genişliğine bağlıdır.

Isıl gürültünün spektral güç yoğunluğu, gürültü bant genişliği boyunca sabit olduğu için, seçilen IF filtrenin ortalama bant genişliği biliniyorsa görüntülenen ortalama gürültü seviyesi 3.5 ifadesi ile bulunur.

$$L_{DAN} = 10 \cdot \log \left(\frac{k \cdot T \cdot B_{N,IF}}{1 \cdot 10^{-3} W} \right) + NF_{SA} - 2.5dB \quad (3.5)$$

- L_{DAN} [dBm] = Görüntülenen ortalama gürültü seviyesi
 k [w/Hz] = Boltzmann sabiti, $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$
 T [k] = Ortam sıcaklığı
 $B_{N,IF}$ = IF filtresinin gürültü bant genişliği
 NF_{SA} [dB] = Spektrum analizörün gürültü elemanı
 $-2.5dB$ = Logaritmik seviye değerlerinin ortalaması ve örnekleme dedektörü tarafından azaltılan gürültü

Ortam sıcaklığı 290°K için, görüntülenen ortalama gürültü seviyesi :

$$L_{DAN} = -174dBm(1Hz) + \left(10 \cdot \log \frac{B_{N,IF}}{Hz} \right) dB + NF_{SA} - 2.5dB \quad (3.6)$$

-174 dBm (1 Hz)değeri/290°K sıcaklıkta ,1 Hz bant genişliğinde bir omik direnç üzerindeki termal gürültü gücüdür. Bu değer gürültü tabanı yada verilen bir sıcaklıkta mutlak minimum gürültü seviyesidir.

$B_{IF,1}$ 'den $B_{IF,2}$ 'den değişen IF bant genişliğine bağlı olarak görüntülenen gürültünün değişimi Denklem 3.5'den elde edilebilir.

$$\Delta L_{DAN} = 10 \cdot \log \frac{B_{N,IF,2}}{B_{N,IF,1}} \quad (3.7)$$

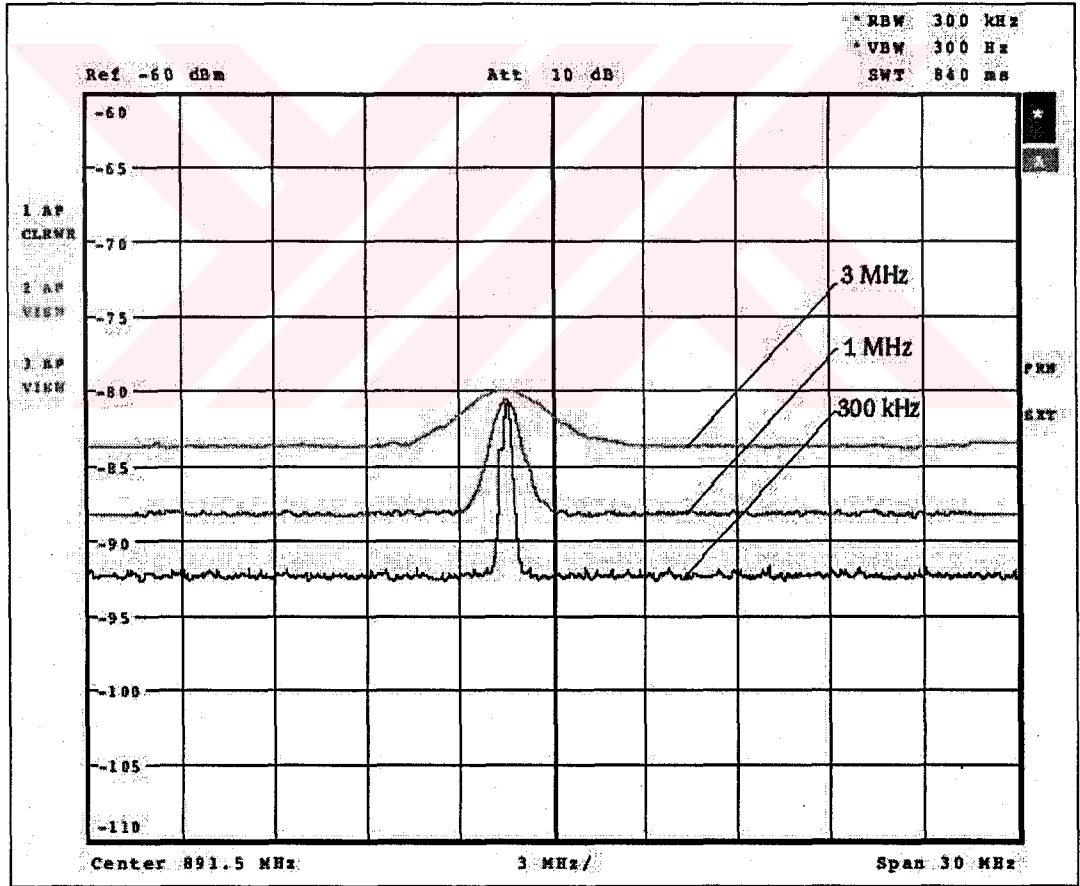
$B_{N,IF,1}, B_{N,IF,2}$ [Hz] = Ayarlamadan önce ve sonra IF filtresinin gürültü bant genişliği

ΔL_{DAN} = Değişen IF bant genişliğinin bir fonksiyonu olarak gürültü değişimi

Eğer her iki IF filtresinde 3 dB bant genişliği ve gürültü bant genişliği arasında aynı ise, gösterilen gürültüdeki fark 3 dB bant genişliğinden denklem 3.8'deki gibi hesaplanabilir.

$$s \Delta L_{DAN} = 10 \cdot \log \frac{B_{IF,2}}{B_{IF,1}} \quad (3.8)$$

Şekil 3.3. farklı IF bant genişliklerinin gösterilen gürültü üzerindeki etkilerini gösterir. Bir spektrum analizörün IF filtrelerinin farklı değerlerine bağlı olarak, analizörün gürültü eğrisi aynı zamanda seçilen çözünürlük bant genişliğine de bağlı olabilir.



Şekil 3.3. Farklı çözünürlük bant genişliği değerlerinde görüntülenen ortalama gürültü seviyesi

Analizörün duyarlılık sınırı, ortalama gürültü seviyesinden belirlenebilir. Minimum algılanılan işaret olarak adlandırılan duyarlılık, analizörün görüntülediği giriş işaretinin seviyesinde 3 dB'lik artış oluşturan gürültü seviyesi olarak tanımlanır. Spektrum analizörde giriş işareti ile gürültü toplamı (S+ N) gösterildiği için, bu durum doğal ısı gürültünün efektif gürültü seviyesine karşılık gelen (S = N) bir giriş seviyesi oluşturmasına neden olur. Bu durumda işaret/gürültü oranı 3.9'daki eşitlikler ile verilmiştir.

$$\frac{S+N}{N} = 2 \quad \text{ve} \quad 10 \cdot \log\left(\frac{S+N}{N}\right) = 3dB \quad (3.9)$$

N, RMS detektör kullanırken gösterilen gürültü seviyesini ifade eder.

Tablo 3.1. HP 8591E Spektrum analizöre ait karakteristik değerleri

Görüntülenen ortalama gürültü seviyesi

<u>Frekans</u>	<u>dBm</u>
9 kHz	< -95,0
100 kHz	< -100,0
1 MHz	< -120,0
10 MHz den 7 GHz'e	< -138,0

0 dB RF zayıflama, RBW 10Hz, VBW 1Hz,
Span 0Hz, 50 Ohm

Görüntülenen ortalama gürültü seviyesinin karakteristik verileri, her zaman çözünürlük genişliği ve zayıflatıcı değerlerini içermelidir. Tipik ayarlar 0dB RF zayıflama ve uygun olan en az çözünürlük bant genişliğidir. Sabitlenmiş bir gürültü gösterimi için, dar bir video bant genişliği (yukarıdaki veri listesinde 1Hz) kullanılmalıdır.

3.2. Maksimum Duyarlılık

Spektrum analizörlerin maksimum duyarlılığı zayıflatıcının 0dB'ye ayarlanmasıyla elde edilir. Görüntülenen gürültüyü daha da azaltmak için, çözünürlük bant genişliği azaltılır. Düşük gösterimli gürültü ile yüksek ölçme hızı arasında bir denge kurulmalıdır. Giriş işaretlerinin çok düşük bir işaret/gürültü oranı ile gösterimi için, çözünürlük bant genişliği kadar video bant genişliğinde azaltılması veya RMS dedektörü kullanırken süpürme zamanının azaltılması yararlı olacaktır. Bu sayede işaretin görüntülenen izi yumuşatılır ve giriş işareti net olarak gösterilebilir.

Spektrum analizörün duyarlılığının yüksek olması özellikle çözünürlük bant genişliğinin standartlarla belirlendiği uygulamalarda önemlidir. Bu durumlarda gösterilen gürültünün çözünürlük bant genişliğini azaltarak düşürülmesine izin verilmez. Hassasiyet aynı zamanda ölçüm hızı için de önemlidir. Görüntülenen düşük seviyeli gürültüyü algılamak için, tarama zamanını sırayla artıran düşük bantlı, düşük hassasiyetli IF filtrelerine ihtiyaç vardır. Düşük bir gürültü özelliği gösteren spektrum analizörler daha büyük çözünürlük bant genişliklerinin kullanımına ve bundan dolayı daha kısa süpürme zamanları kullanımına izin verirler.

3.3. Doğrusallık Dışı Davranışlar (Nonlinearities)

İdeal bir 2-uçlu sistem işaretin, girişinden çıkışına bozulmadan transferini sağlar. Böyle bir sistem eşitlik 3.10 ile ifade edilebilir.

$$v_{out}(t) = G_v \cdot v_{in}(t) \quad (3.10)$$

$V_{out}(t)$ = Sistem çıkışındaki işaret

$V_{in}(t)$ = Sistem girişindeki işaret

G_v = Sistemin kazancı

Böyle ideal sistemler, sadece pasif elemanlar ile oluşturulabilirler. Örneğin dirençli zayıflatıcı katlar ideal davranışta kabul edilebilir. Yarı iletken elemanlar içeren sistemler, örneğin yükseltici ve karıştırıcılar, lineer olmayan davranışlar gösterirler. Bu durumda transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi bir kuvvet serisi ile belirlenebilir,

$$v_{out}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot v_{in}^n(t) = a_1 \cdot v_{in}(t) + a_2 \cdot v_{in}^2(t) + a_3 \cdot v_{in}^3(t) + \dots \quad (3.11)$$

$V_{out}(t)$ = Sistem çıkışındaki işaret

$V_{in}(t)$ = Sistem girişindeki işaret

a_n = Seviye değişimi doğrusal olmayan elemanın katsayısı

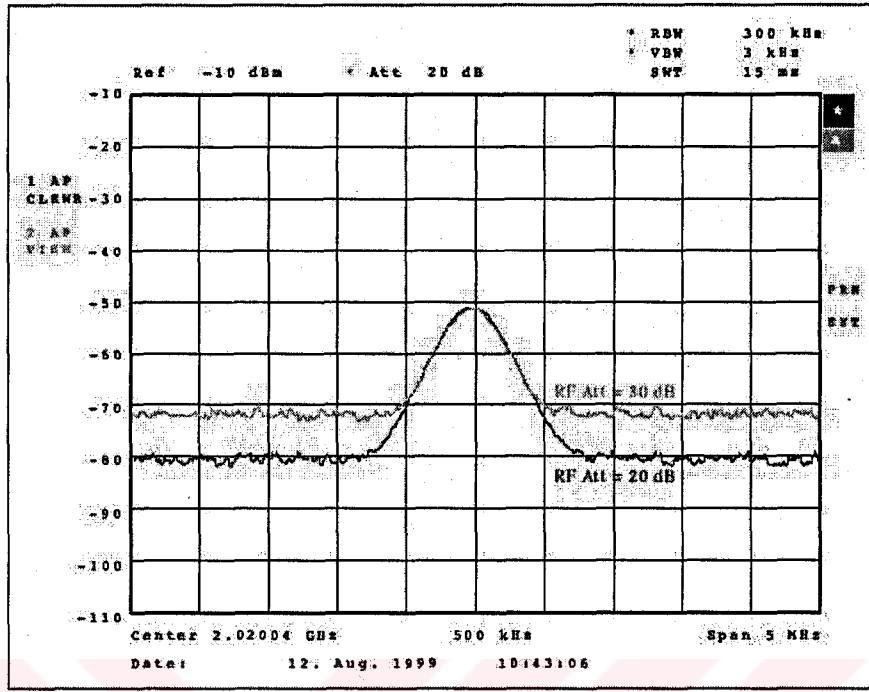
Birçok durumda ikinci ve üçüncü dereceden terimleri dikkate almak gereklidir.

3.4. İntermodülasyon Bileşenlerinin Tanımı

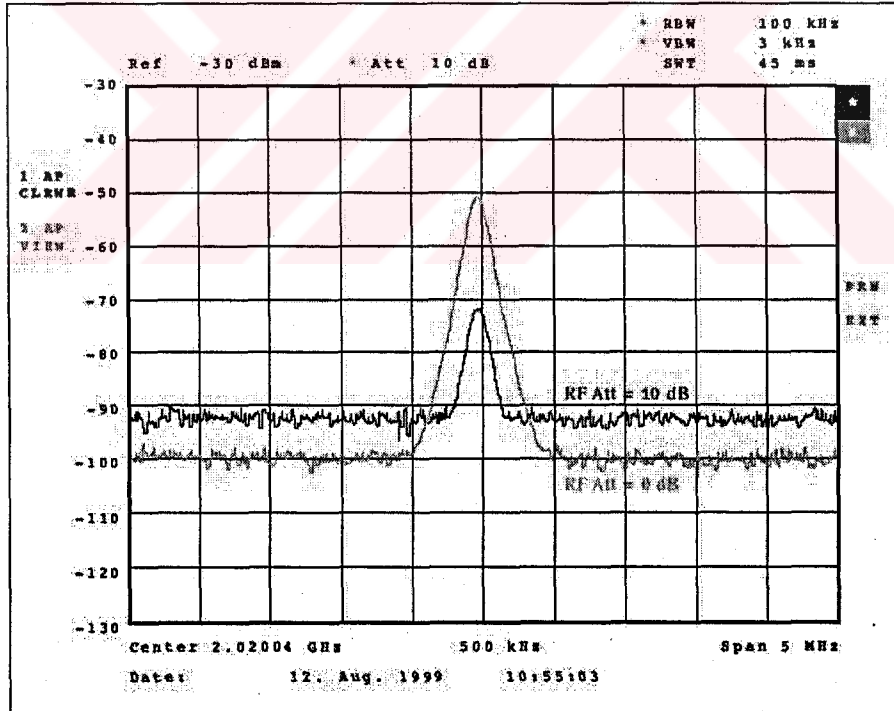
Spektrum analizörün tipik uygulamalarından birisi yükseltici yada karıştırıcılar gibi elemanların ölçümleridir. Yüksek derecede harmonik yada intermodülasyon bileşenlerindeki gürültü sadece test edilen elemanlar tarafından değil; aynı zamanda spektrum analizörler tarafından da üretilir. İlk karıştırıcının girişindeki, yüksek seviyeli işaret düzeyleri yanlış ölçümlere sebep olabilir; Çünkü spektrum analizörde üretilen harmonik ve intermodülasyon bileşenleri test edilen elemanların gürültülerine eklenmektedir.

Spektrum analizörün karıştırıcısı ve IF yükselticisi genellikle analizörün doğrusallığını etkiler. Bunların yanında giriş zayıflatıcısının doğrusallığa hiçbir etkisi yoktur. Eğer RF zayıflatıcısı, karıştırıcı düzeylerini çeşitlendirmek için kullanılırsa; analizörde üretilen intermodülasyon bileşenleri düzeyleri, onların derecelerine göre belirlenir. Ölçülen elemanda üretilenler ise sabit kalır.

Spektrum analizörde üretilen intermodülasyon bileşenleri RF zayıflatıcı yardımı ile belirlenebilirler. Eğer RF zayıflatıcıdaki değer artışına karşın harmonik ve intermodülasyon bileşenlerinin bağıl düzeyleri sabit kalırsa Şekil 3.4'de görüldüğü gibi ölçüm doğru sonuçlar verir. Tersi durumda ölçüm yanlış olur.



a)



b)

Şekil 3.4. İntermodülasyon bileşenleri a) Test edilen cihazın intermodülasyon ürünleri (ölçüm doğru) b) Analizörün intermodülasyon ürünleri (ölçüm yanlış)

3.5. Frekans Doğruluğu

Günümüzde spektrum analizörlerdeki lokal osilatörler, kararlı bir referans osilatör ile faz kilitlemeli çevrim (PLL) olarak adlandırılan teknik ile senkronize edilirler. Böylece spektrum analizörün frekans doğruluğu bu referansın doğruluğuna sahip olur. Referansın uzun dönem stabilitesi ve sıcaklık duyarlılığı da frekans doğruluğuna aynı şekilde yansır.

Tablo 3.2. Örnek bir spektrum analizörün frekans doğruluğu, karakteristik değerleri

Dahili Referans Frekansı (Nominal)	
Yıllık Yaşlanma	1.10^{-6}
Sıcaklık sapması (+5°C; 45°C)	1.10^{-6}
OCXO opsiyonu ile	
Yıllık Yaşlanma	1.10^{-7}
Sıcaklık sapması (+5°C; 45°C)	1.10^{-8}

Referanslar genellikle 10 MHz değerinde, sıcaklık kompanzasyonlu kristal osilatörler (TCXO) veya “oven controlled crystal oscillators” (OCXO) tarafından üretilirler. Üretilen referans frekanslar ortam sıcaklığına ve komponent yaşlanmasına bağlıdır. Spektrum analizörün yüksek mutlak frekans doğruluğunu sağlamak için, referans frekansı düzenli aralıklarla ayarlanmalıdır. Kullanıcılar bu ayarlamayı yapabilmek için referans olarak doğruluğu üst düzeyde olan ve değeri tam olarak bilinen bir işarete yada referans işaret sayıcıya ihtiyaç duyarlar. Bu yüzden belirtilen ayarlamalar genellikle cihazın yetkili teknik servislerinde yada kalibrasyon merkezlerinde gerçekleştirilir.

Tablodan da görüleceği gibi OCXO osilatörler daha yüksek sıcaklık stabilitesine ve daha düşük sıcaklık sapmasına sahiptirler. Toplam frekans hatası sıcaklık sapması ve uzun dönem kararlılığından oluşur.

Uzun dönem kararlılığı cihaz sürekli olarak çalışır vaziyette kaldığı sürece değerlendirilen bir parametredir. Eğer cihaz kapatılıp tekrar açılırsa, parametre tekrar başa döner ve osilatör frekansı değişir.

3.6. Seviye Ölçümü Doğruluğu

İşaret seviyesi ölçümü, daima belirsizlik bileşenleri içerir. Bu belirsizlik bileşenleri spektrum analizörlerin farklı komponentlerinin etkisiyle oluşur. Bu yüzden, cihazların piyasaya çıkışından önce yapılan fabrikadaki kalibrasyon ile bileşenlerin ayrı ayrı hata değerleri belirlenir ve bu değerler analizöre düzeltme olarak yüklenir. Bu hata bileşenleri, hesaba katılarak işaret görüntülenir, böylece doğruluk artar.

Analizör karakteristiklerinde sıcaklık kaymaları ve yaşlanma etkisi dikkate alınmasına rağmen, analizörlerin pek çoğunda dahili sıcaklık-kararlılıklı işaret kaynakları bulunmaktadır. Çalışma sırasında gerekli olduğunda hata ayarlamalarını kendi kendine yapabilen bu kaynaklar uygun değer dışarından düzeltmeye gerek kalmadan üretilmesini sağlarlar.

Genlik seviyesi hatalarını düşürmek için düzenli aralıklarla kalibrasyon gereklidir. Spektrum analizörlerde kalibrasyon periyotları genellikle üretici tarafından belirtilir. Bunun dışındaki durumlarda veya kullanım amacı, kullanım koşulları, cihazın yıllara bağlı sapma miktarlarında göz önüne alınarak yetkili kalibrasyon merkezi tarafından tavsiye edilen kalibrasyon periyotlarına uyulabilir. Burada cihazın kalibrasyon verilerinin yıllara bağlı düzenli olarak tutulmasıda önem taşımaktadır. Üretici tarafından yapılan kalibrasyon sonucunda alınan ölçüm değerleri, ölçüm koşulları ve diğer nedenlerden kaynaklanabilecek olası hatalarıda içeren ölçüm belirsizlikleri ile beraber verilir. Bu belirsizlik değerleri spektrum analizörün karakteristik verileri içinde genlik hataları başlığı altında verilir.

3.7. Bant Genişliği Değiştirme Hatası

Farklı çözünürlük bant genişliği değerleri arasında geçiş yapılması sırasında bir genlik belirsizliği meydana gelir. Zayıflatıcı hatası ve IF kazanç hatasına benzer bir şekilde, bu belirsizlik bileşeni de otomatik ayarlama işlemi (self-adjustment) sırasında tespit edilebilir ve bir düzeltme faktörü ile dengelenebilir.

3.7.1. Bant genişliği hatalarının etkileri

Bant genişliği hataları, ayarlanmış çözünürlük bant genişliğinin, gerçek değerinden sapması olarak tanımlanmaktadır. Bant genişliği hatasının %5 olarak belirtilmiş olması, 10kHz'e ayarlanmış bir bant genişliğinin, 9,5kHz ile 10,5 kHz arasında herhangi bir değerde olabileceğini gösterir. Bu hata sadece ölçülen gücün ölçüm bant genişliğini referans aldığı veya ölçüm bant genişliğinin daha sonraki hesaplamalarda bilinmesi gerektiği durumlar için geçerlidir.

Sonuç olarak elde edilen seviye hatası bant genişliği hatasından yüzde olarak da hesaplanabilir. 3.12 ifadesi, gürültü ve gürültü benzeri işaretler için geçerlidir,

$$\Delta L_{\frac{RBW}{dB}} = 10 \cdot \log \left\{ 1 - \left(\frac{\Delta_{RBW} / \%}{100} \right) \right\} \quad (3.12)$$

ΔL_{RBW} = Bant genişliği hatasına bağlı olarak oluşan seviye hatası

Δ_{RBW} = Bant genişliği hatası

3.8. Empedans Uyumsuzluğuna Bağlı Hata

İdeal bir spektrum analizörün giriş yansımaya katsayısı sıfır olmalıdır. Yani uygulanan giriş işaretinin gücü işaret kaynağının çıkış empedansı hesaba katılmaksızın kayıpsız olarak analizöre aktarılmalıdır. Bununla birlikte, gerçek bir spektrum analizörün girişindeki yansımaya katsayısı sıfırdan büyüktür ve bu yüzden bir uyumsuzluk vardır. Ölçüm sonucu, bu nedenle kaynağın çıkış yansımaya katsayısına bağlıdır. Empedans uyumsuzluğa bağlı M_U ölçüm belirsizliği 3.13 ifadesi ile verilmektedir.

$$M_u = 100 \cdot \left\{ (1 \pm r_s \cdot r_1)^2 - 1 \right\} \quad (3.13)$$

M_u = % olarak ölçüm belirsizliği

r_s = Kaynağın yansımaya katsayısı

r_1 = Spektrum analizörün yansımaya katsayısı

Aşağıdaki yaklaşım uygulanır:

$$M_u \approx \pm 200 \cdot r_s \cdot r_1 \quad (3.14)$$

Spektrum analizörlerde seviye hataları dB olarak verilir. Denklem 3.13 aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\Delta L_r = 20 \cdot \log(1 - r_s \cdot r_1) \quad (3.15)$$

ΔL_r [dB] = Empedans uyumsuzluğa bağlı seviye hatası

Analizörün giriş empedans uyumu veya test edilen cihazın çıkış empedans uyumu, genellikle VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) olarak veya geri dönüşüm kaybı olarak verilir. Bu tür verilere dayanarak, yansımaya katsayıları denklem 3.16' daki şekilde hesaplanabilir:

$$r = \frac{S - 1}{S + 1} \quad (3.16)$$

r = Yansımaya katsayısı

S = VSWR

$$\text{ve } r = 10^{-\frac{a_r}{20}} \quad (3.17)$$

a_r = Geri dönüşüm kaybı, dB olarak

Denklem 4.27'yi Denklem 4.26 ile düzenleyerek denklem 3.18ifadesi elde edilir.

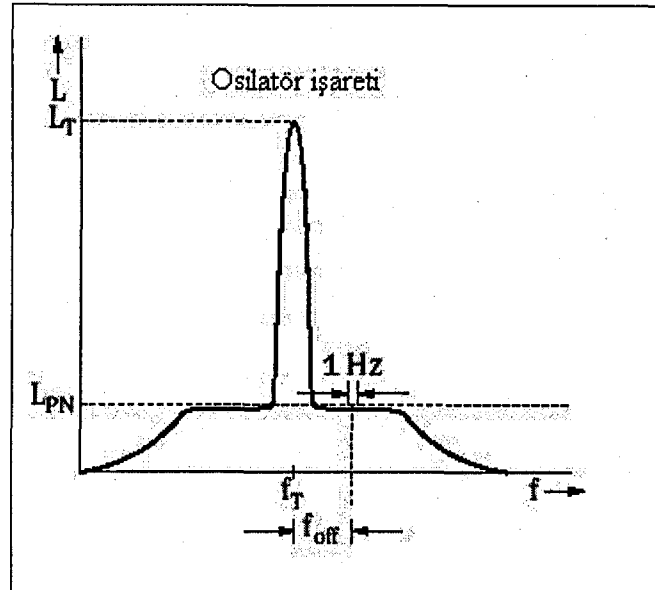
$$\Delta L_r = 20 \cdot \log \left(1 - \frac{S_s - 1}{S_s + 1} \cdot \frac{S_1 - 1}{S_1 + 1} \right) \quad (3.18)$$

3.9. Faz Gürültüsü Ölçümü

Osilatörün faz gürültüsü, kısa süreli kararlılığın bir ölçüsü ve ölçüm için bir kalite kriteridir. Bu nedenle dinamik aralığın uyulması zorunlu olduğu durumlarda spektrum analizörler faz gürültü ölçümlerinde kullanılırlar. Ölçümü yapılacak olan cihazın frekans kayması, spektrum analizörün süpürme zamanına göre daha küçük olmak zorundadır. Aksi durumda osilatörün ölçülebilir frekans kayması daha yüksek bir değerde olacağı için ölçüm sonuçları yanlış olur. Bu yüzden spektrum analizörler genellikle stabil bir referans değere kilitlemeli işaret üreticilerinin ölçümünde daha uygundurlar. Yani serbest çalışan osilatörlerin ölçümleri için uygun sayılmazlar.

3.9.1. Ölçüm prosedürü

Tek yan bant gürültüsü, osilatörler için 1Hz bant genişliğinde taşıyıcı seviyesine göre taşıyıcı offset değeri olarak tanımlanır (Şekil 3.5). Bu birim dBc (1Hz) yada dBc/Hz (c=taşıyıcı)'dir.



Şekil 3.5. Tek yan bant faz gürültüsü

Spektrum analizörler ile gürültü ölçümleri iki temel adımı kapsar:

- Taşıyıcı seviyesi L_c 'nin ölçümü
- Taşıyıcı offsett seviyesinde faz gürültü seviyesinin ölçümü.

Değerlendirme için öncelikle taşıyıcı seviyesindeki faz gürültüsü ölçülür ve çözünürlük bant genişliği B_{IF} ilk olarak 1Hz bant genişliğine bağlı ifade edilir. RMS dedektörlerin kullanımı ile;

$$L_{PN}(f_{off}) = L_{PN,ölçülen}(f_{off}) - 10 \cdot \log B_{N,IF} \quad (3.19)$$

$L_{PN}(f_{off})$ [dBm] : Taşıyıcı ofset frekansı f_{off} 'ın 1Hz bant genişliğine bağlı ifade edildiği durumdaki faz gürültü seviyesi

$L_{PN,ölçülen}(f_{off})$ [dBm] : Gürültü bant genişliği $B_{N,IF}$ iken RMS dedektör ile ölçülen faz gürültü seviyesi

$B_{N,IF}$ [Hz] : Çözünürlük filtresinin gürültü bant genişliği

Eğer RMS dedektör yerine örnekleme dedektörü kullanılırsa, bölüm 2.5.5.3'de açıklandığı üzere gürültü değeri azalarak,

$$L_{PN}(f_{off}) = L_{PN,ölçülen}(f_{off}) - 10 \cdot \log B_{N,IF} + 2.5dB \quad (3.20)$$

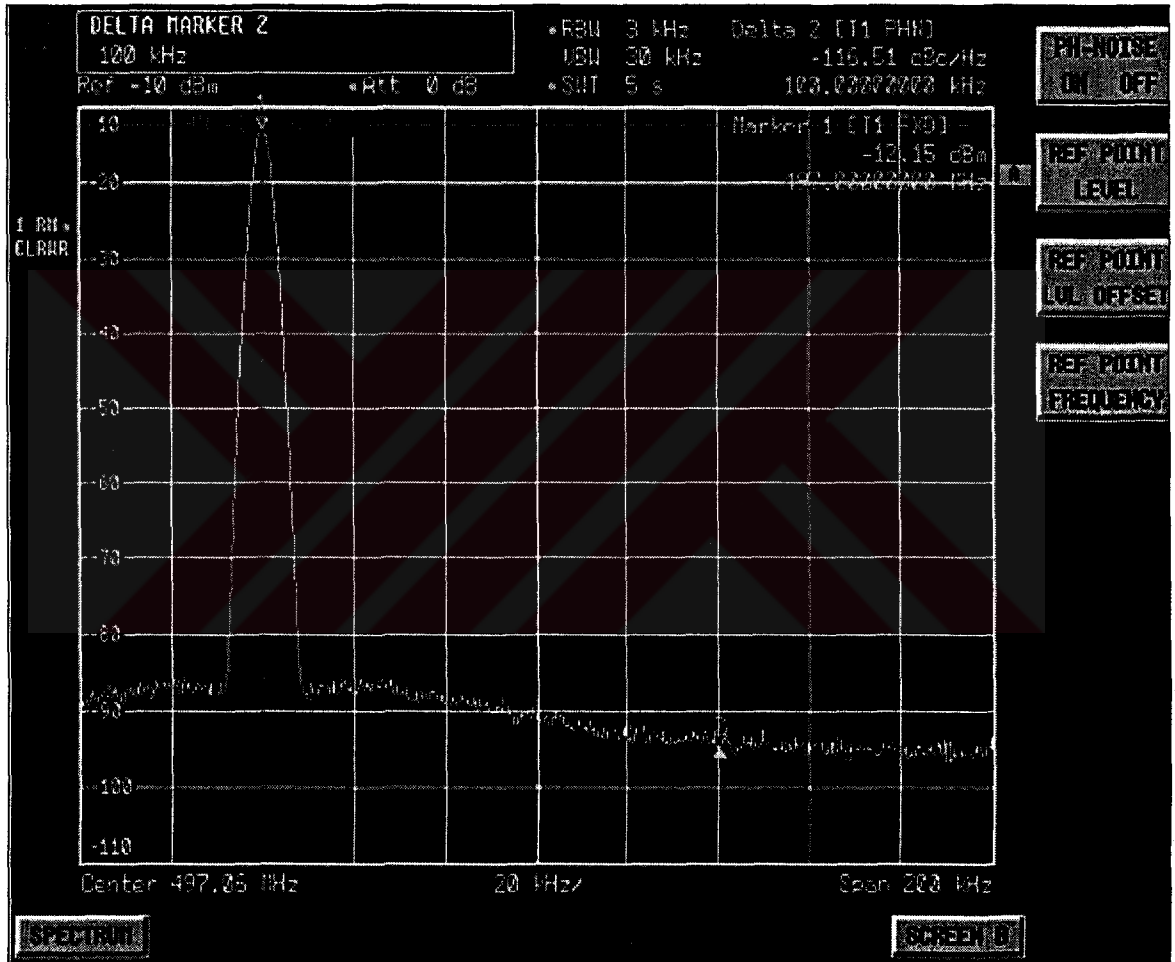
1Hz bant genişliğindeki faz gürültü seviyesi bu durumda taşıyıcı seviyesine refere edilir.

$$L(f_{off}) = L_{PN}(f_{off}) - L_c \quad (3.21)$$

$L(f_{off})$ [dBm] : 1Hz bant genişliğinde taşıyıcı ofset değerinin f_{off} , taşıyıcı seviyesine refere edildiği bağlı faz gürültü seviyesi .

L_c [dBm] : Taşıyıcı genlik seviyesi

Spektrum analizörler faz gürültü ölçümlerini kolaylaştıran yani verilen taşıyıcı ofset değerindeki faz gürültüsü doğrudan okuma imkanı veren işaretçi fonksiyonlarına sahiptirler. İşaretçi fonksiyonları ile faz gürültüsünün bulunması işlemi belirli bir taşıyıcı ofset değerinde gerçekleştirilebilir. Fakat faz gürültüsü değerleri bunun dışında daha geniş aralıklar içinde bulunabilir. Bu tarz ölçümleri kolaylaştırmak için spektrum analizörlere özel yazılımlar bulunmaktadır. Şekil 3.6'da böyle bir yazılım yardımıyla gerçekleştirilen faz gürültüsü ölçümü gösterilmektedir.

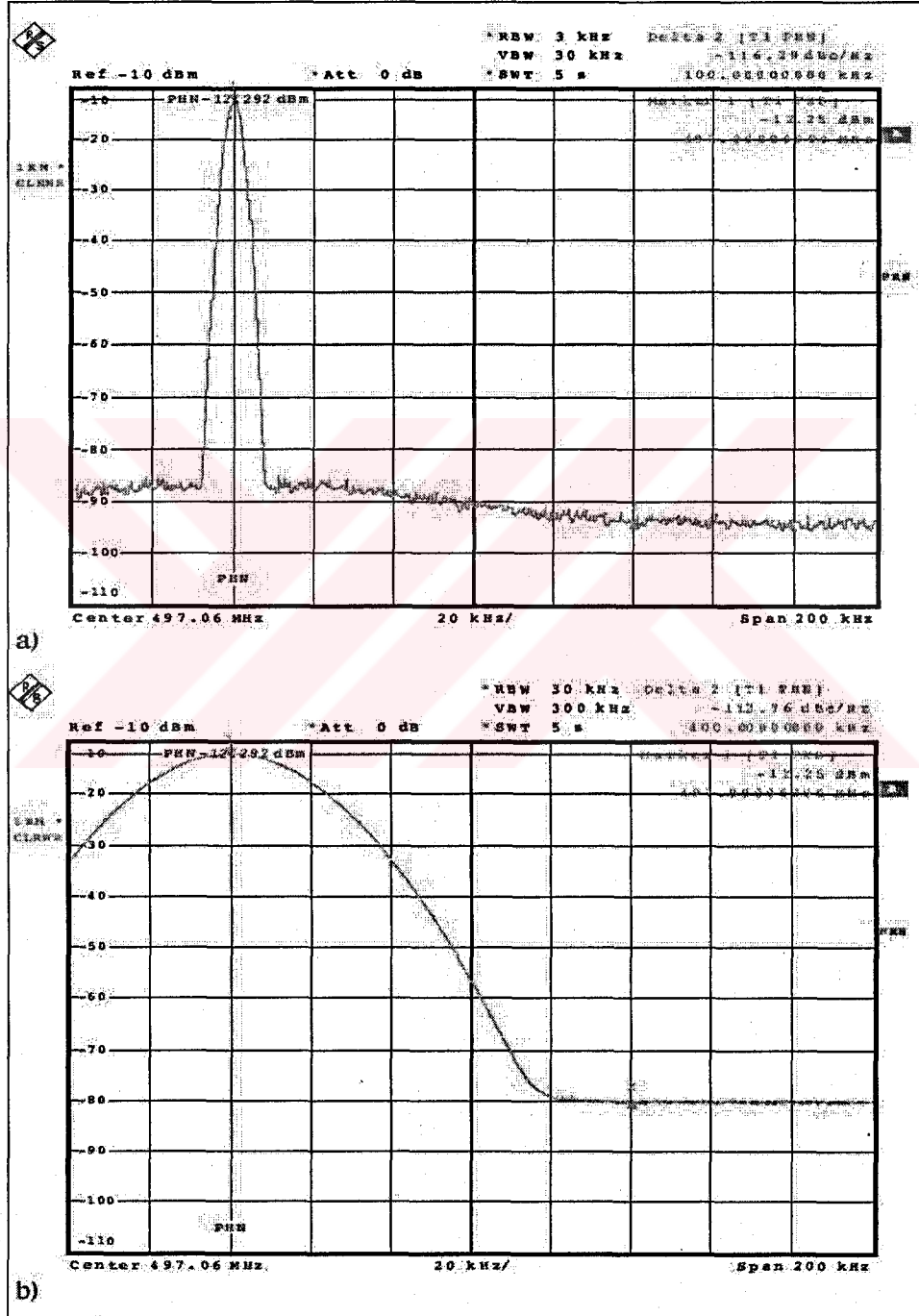


Şekil 3.6. İşaretçi fonksiyonu ile faz gürültüsü ölçümü

3.10. Çözünürlük Bant Genişliği Seçimi

Belirli bir taşıyıcı ofset değerinde, faz gürültüsü ölçümlerinde seçilen bant genişliği değerinin uygun olan en küçük değer seçilmesine özen gösterilmelidir. Eğer çözünürlük bant genişliği çok büyük değerde olursa, f_{off} offset değerindeki taşıyıcı

IF filtre tarafından yeterli derecede bastırılamaz. Zarf dedektörü yada ADC girişindeki artık taşıyıcının seviyesi, faz gürültüsü değerinden büyük olacağından ölçüm sonucu hatalı olur. İzin verilen maksimum çözünürlük bant genişliği, taşıyıcı offset frekansına bağlıdır.



Şekil 3.7. Doğru bant genişliğinin seçimi

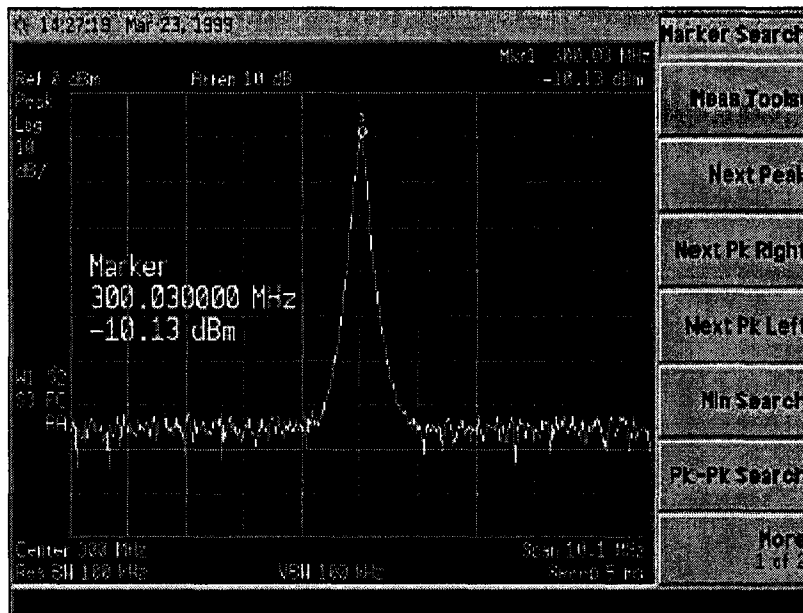
- Çözünürlük bant genişliği çok geniş, taşıyıcı yeterince sabitlenemiyor.
- Çözünürlük bant genişliği yeterince küçük.

BÖLÜM 4. SPEKTRUM ANALİZÖRLERDE GENLİK DOĞRULUĞUNUN ARTTIRILMASI

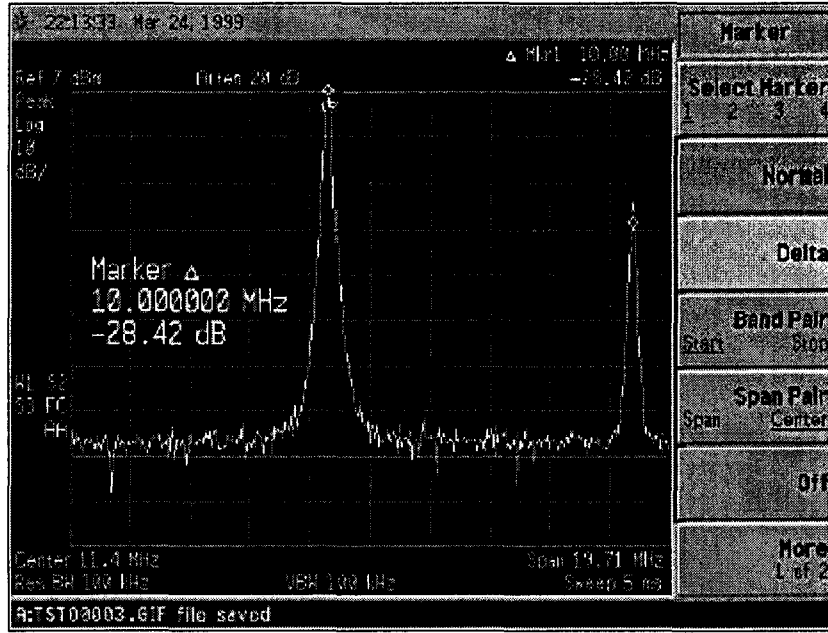
Bu bölümde genlik ölçümlerindeki belirsizlik faktörleri ve doğruluğa etkileyen nedenler incelenecek, genelde en olumsuz durumda belirsizlik hesabının nasıl yapıldığı açıklanacaktır. Bir cihazın ölçümü ve analizi sırasında toplam belirsizliği minimize etmek için hangi işlemleri uygulanması gerektiği konusunda karar verilmesi, böylece daha da kolaylaşacaktır.

4.1. Mutlak ve Bağlı Ölçümler

Genlik ölçümleri mutlak ve bağlı genlik ölçümleri olarak ikiye ayrılırlar. Mutlak genlik, işaretin güç yada gerilim seviyesidir (Şekil 4.1). Örneğin, bir taşıyıcının güç seviyesinin dBm olarak ölçümü, mutlak ölçümdür. Bağlı genlik ise, iki genlik seviyesi arası fark değeridir ve dB olarak verilebilir (Şekil 4.2). Bağlı ölçümler bir işaret yada işaret bileşenin referans alındığı ve buna bağlı olarak diğer işaret seviyelerinin ifade edildiği ölçümdür. Bağlı değere örnek olarak; harmonik gürültü ölçümünde temel işaret referans alınır ve harmonikler genellikle dBc (Taşıyıcı seviyesine bağlı desibel) olarak ölçülür. Spektrum analizör uygulamalarının bir çoğu bağlı genlik ölçümleri içerir.



Şekil 4.1. Mutlak Genlik Ölçümü



Şekil 4.2. Bağlı genlik ölçümü

4.2. Ölçüm Belirsizliğine Etki Eden Faktörler (Belirsizlik Kaynakları)

Şekil 2.2’de basitleştirilmiş blok diyagramı verilen süper heterodyne spektrum analizörün bileşenlerinden bazıları genlik ölçüm belirsizliğine katkıda bulunurlar. Bu katkılara genlik belirsizlik faktörleri adı verilir. Tablo 4.1’de bir spektrum analizördeki tipik genlik belirsizliği faktörleri ve bu faktörlerin yaklaşık değer aralıkları verilmiştir. Spektrum analizörler mutlak ve bağlı belirsizlikler için karakteristik değerlere sahiptirler.

Tablo 4.1. Genlik belirsizliği bileşenleri

Genlik Belirsizliği Faktörleri

Bağlı	±dB
Frekans yanıtı	0,5 - 4,0
Bant değiştirme	0,5 - 1,0
Ölçek kademe doğruluğu	0,5 - 2,0
Referans Seviye(IF kazancı)	0,1 - 1,0
Giriş zayıflatıcısı değişimi	0,5 - 2,0
Çözünürlük bant genişliği değişim	0,1 - 1,0
Görüntüleme ölçeklendirilmesi	0,0 - 1,0
Mutlak	±dB
Frekans yanıtı	0,5 - 4,0
Kalibratör	0,2 - 1,0

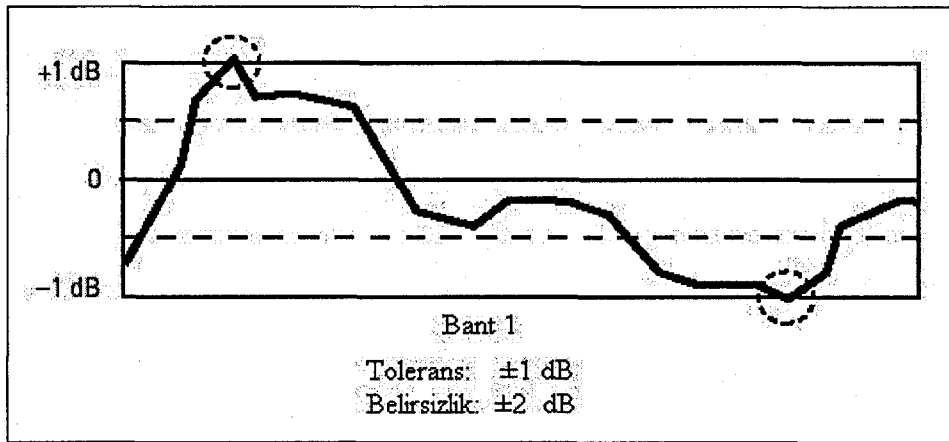
4.2.1. Bağıl genlik belirsizliği faktörleri

4.2.1.1. Frekans yanıtı (flatness)

Frekans yanıtı belirsizliği, kullanılan frekans bandındaki belirsizlik olarak tanımlanır. Spektrum analizörünün frekans yanıtı genellikle belirsizliğe en büyük katkıyı veren bileşendir. Bu değer giriş zayıflatıcılarının, karıştırıcı dönüştürme kaybının ve giriş filtresinin bir fonksiyonudur. Frekans yanıtı, farklı frekanslardaki işaretlerin görüntülenen genlik değerlerini etkiler. Frekans yanıtı, kullanılan frekans aralığına bağımlıdır ve belirtilen frekans aralığında verilen zayıflatıcı değerlerine bağlı olarak tanımlanır.

Frekans yanıtı belirsizliği, hem mutlak, hemde bağıl ölçümlerde bulunmaktadır. Bağıl frekans yanıtı belirsizliği verilen frekans aralığında genlik değerinin orta noktasının değerine bağımlı, olası en büyük genlik belirsizliğini tanımlar. Bağıl frekans yanıtı belirsizliği tanımlandığı frekans aralığındaki mutlak frekans yanıtı belirsizliğinden genellikle daha küçük değerlidir.

Düşük frekans RF analizörlerin bağıl frekans yanıtı belirsizlikleri $\pm 0,5$ dB aralığında olmalıdır. 20 GHz frekans aralığına sahip mikrodalga spektrum analizörler için bu değer $\pm 4,0$ dB'ye kadar ulaşabilir. Hesaplamalarda en kötü durumda oluşabilecek değerler verilmektedir. Şekil 4.3'te görülen örnek işarette genlik değeri ± 1 dB'lik tolerans aralığının dışına taşmaktadır.



Şekil 4.3. Örnek bir işaret için frekans yanıtı belirsizliği

Spektrum analizörün girişinde bulunan ön seçici devre, giriş işaretinin tepe genlik değerinin analizör tarafından işaretleyici aracılığı ile yakalanmasını sağlayacak şekilde çalışır. Ön seçici ilgilenilen işaretin tepe değer yanıtını daha belirgin hale getirirken, diğer frekanslardaki değerleri de bastırmaktadır. Bu yüzden farklı bir frekanstaki işaretin ölçümü yapılmadan önce, önseçici tepe değerini yeniden uygun değere ayarlamak önemlidir. Spektrum Analizörlerin bazı modellerinde bu işlem otomatik olarak yapılmaktadır.

4.2.1.2. Bant değiştirme

Giriş işareti ile lokal osilatör harmoniklerini karıştırmak, çok geniş bir frekans aralığında ölçüm yapabilmeye olanak sağlamaktadır. Her bir lokal osilatör harmoniği, analizörün frekans aralığı içinde farklı bir harmonik frekans bandını destekler. Böylece analizörün tüm giriş frekans aralığında çalışabilmesi sağlanmış olur. Farklı harmonik bantlarda bulunan işaretlerin ölçümü istenildiğinde, analizörün bir banttan diğerine geçmesi dolayısıyla belirsizlik değerinde ek artışlar görülecektir. Yapılan ölçümde birden fazla frekans bandı kullanılıyorsa, kullanılan analizörün karakteristik bilgilerinden herbir harmonik bandına ait belirsizlik değerlerine ulaşılarak toplam belirsizlik bulunabilir. Bant değiştirme belirsizliği her zaman aynı olmamakla birlikte genellikle ± 1 dB değerindedir.

4.2.1.3. Ölçek kademe doğruluğu (Scale Fidelity)

Ölçekleme doğruluğu belirsizliği, ekranda birbirinden farklı iki işaretin ölçülmesi sırasında, görüntülenen genlik değerlerinin birbirlerine göre doğru ölçeklenmesinde kullanılır. Örneğin, delta markerlarının birbirinden farklı genlik değerlerine sahip iki işaretin tepe değerlerini belirttiği bir ölçümde, bu iki işaretin görüntülenen genliklerinin birbirleri ile karşılaştırıldığında doğru ölçeklenmesini sağlamak için ölçekleme doğruluğu kullanılır. Ölçekleme doğruluğu, dedektör ve sayısallaştırıcı devre doğrusallığına, log/lineer yükselteçlerin giriş işaretine ait farklı gerilim değerlerini uygun bağıl güç (log) veya gerilim (lineer) seviyelere dönüştürüp görüntüleme yeteneğine bağlıdır.

Spektrum analizörlerin pek çoğunda ölçüm aralığının alt sınırına yakın değerlerde logaritmik yükselteçlerin doğruluğunda azalma görülür. Görüntülemeye sayısal teknikler ve markerlar kullanan analizörler için bu etkin bir belirsizlik faktörü değildir; çünkü işaretçi bilgisi doğrudan ekrana değil, bir bellek birimine aktarılır. Ölçek doğruluğu karakteristik değerleri $\pm 0,4\text{dB}$ ile maksimum $\pm 1\text{dB}$ arasında değişir. $\pm 0,4\text{dB}$ değeri ölçülen iki işaretin genliklerinin örtüştüğü durumda geçerlidir. Genlik değerleri arası fark arttıkça karakteristik değerde toplamsal olarak artar.

4.2.1.4. Referans seviye (IF kazancı)

Ekran referans çizgilerinin en üstte olanın temsil ettiği genlik değeri referans seviye olarak adlandırılır. Referans seviye giriş zayıflatıcılarının ve IF kazancının bir fonksiyonudur. Belirli bir referans seviye ayarında, IF kazancındaki belirsizlik; referans seviye doğruluğunu etkiler. Referans seviye kontrolündeki her değişiklik belirsizlik ortaya çıkartır. Doğrusal gerilimlerle kalibre edilebilen spektrum analizörlerde referans seviye kontrolü, ekran çizgilerinin en altındaki birim aralığın genlik değerini belirler.

Bazı spektrum analizörlerde "IF kazanç belirsizliği" olarak adlandırılan bu faktör, bir kısım analizörlerde de "referans seviye doğruluğu" adını alır (Örneğin, -20dbm 'de $\pm 0,3\text{ dB}$).

4.2.1.5 Giriş zayıflatıcısı değişimi

Giriş zayıflaması sadece giriş seviye kalibrasyonu ve ölçümler sırasında zayıflatıcının değeri değiştirildiğinde referans seviye doğruluğunu azaltan doğal bir belirsizlik kaynağıdır. Giriş zayıflatıcısı, analizörün tüm frekans aralığı boyunca çalışır ve adım (kademe) doğruluğu frekansın bir fonksiyonudur. Düşük frekanslarda zayıflatıcının yüksek frekanslara (20GHz gibi) oranla daha iyi çalışması beklenir. Genellikle giriş zayıflatıcısı belirsizliği $\pm 1\text{dB}$ 'dir.

4.2.1.6. Bant genişliği çözünürlüğü değiştirmek

Farklı çözünürlük bant genişliği ayarları değişik ekleme kaybı karakteristiklerine sahiptir. Bu aynı işaretin farklı ayarlarda ölçümü sırasında genlik değerinin değişmesine neden olabilir. Genlik ölçümlerinde bant genişliği değerinin değişimi doğruluğu azaltır, genellikle çözünürlük bant genişliği değiştirme belirsizliği ± 0.4 dB'dir.

4.2.1.7. Görüntüleme ölçeklendirmesi değişimi

Ekran a ait ölçekleme faktörünün değişmesinden kaynaklanan belirsizlik bileşenleridir. Örneğin 10 dB/div ölçeklemeden 1dB/div ölçeklemeye geçiş sırasında oluşacak belirsizlik gibi. Bunun yanında logaritmik genlik görüntülemesinden lineer görüntülemeye geçiş sırasında da belirsizlik durumu ortaya çıkar. Genelde lineerden logaritmik görüntülemeye geçişteki belirsizlik referans seviyede yaklaşık $\pm 0,25$ dB'dir. Bu az miktarda veriyi hafızasında tutup, ardından hafızadaki bu veriyi görüntüleyen analizörler için etkin bir faktör olmayabilir.

4.2.1.8. Empedans uyumsuzluğu

Tablo 5.1'de belirtilmemesine rağmen empedans uyumsuzluğu ölçüm belirsizliğindeki faktörlerden biridir. Spektrum analizörler giriş işaret seviyesini 50Ω yük altında (cihaz 75Ω girişli ise 75Ω altında) ölçmek gerekir. Fakat spektrum analizörün giriş empedansı tam olarak karakteristik empedans değerine eşit değildir. Bu yüzden belirsizlikler oluşabilir. Bazı durumlarda empedans uyumsuzluğundan kaynaklanan belirsizlik küçüktür.

4.2.2. Mutlak genlik belirsizliği faktörleri

4.2.2.1. Frekans yanıtı

Mutlak frekans yanıtı belirsizliği; verilen frekans aralığında referans işaret genliğine bağlı, olası en büyük genlik belirsizliği olarak tanımlanır.

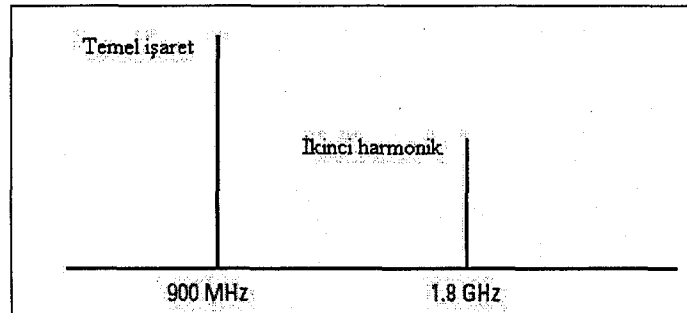
4.2.2.2. Kalibratör

Mutlak ölçümler, genliği tam olarak bilinen bir kalibrasyon işaretine bağlı yapılan ölçümlerdir. Spektrum analizörlerin bir çoğu, üzerlerinde referans kalibrasyon işareti çıkışına sahiptirler. Bu çıkış doğrudan cihazın referans osilatöründen tetiklenir ve cihaza göre yüksek genlik ve frekans doğruluğuna sahiptir. Genellikle kalibratör çıkışı belirsizliği yaklaşık $\pm 0,3$ dB'dir. Kalibratör, ekran çizgilerinin en üstteki çizgisinde mutlak değer kalibrasyonu (referans seviye) yapılmasını sağlar. Kalibratör kaynak çıkışı tek frekans değerine sahip olduğundan, diğer frekanslardaki doğruluk için dönüşüm yapılarak bu referans değer üzerindeki doğruluğa güvenmek gerekmektedir. Bu yüzden cihazın tüm kalibrasyonu için üretici tarafından belirtilen prosedürler uygulanmak zorundadır.

4.3. Toplam Belirsizliğin Hesaplanması

4.3.1. Frekans bandı içindeki bağlı ölçüm (Delta Marker)

Aynı frekans bandı içindeki iki işaretin karşılaştırılmasında, etkin belirsizlik bileşenleri (bağlı) frekans yanıtı ve ölçekleme doğruluğudur. Şekil 4.4'de referans seviyedeki 900MHz frekansındaki işaret ile bu işarete ait 1,8 GHz'deki ikinci harmonik işaret görülmektedir. İşaretler aynı frekans bandında ise karşılaştırıldıkları zaman frekans yanıtı belirsizliği karakteristik değerinin iki katı olur. Herbir işaret pozisyonu için genlik belirsizliği karakteristik aralığının üzerinde yada altında olabilir. Örnek olarak HP marka üç spektrum analizör için karakteristik belirsizlik değerleri Tablo 5.2'de belirtilmiştir.



Şekil 4.4. Aynı frekans bandındaki temel işaret ve ikinci harmonik

4.3.2. Bağlı ölçüm (Delta Marker) iki veya daha fazla bant üzerinde belirsizlik

Eğer karşılaştırılan işaretler farklı bantlarda ise (bantlar arası ölçümler) her bir bantın frekans yanıtı belirsizlikleri toplanır. Ayrıca bant değiştirme belirsizliği tanımlanmış ise bu değer de frekans yanıtına eklenir. Bant değiştirme belirsizliği tanımlanmamış ise, her bir bant için bağlı frekans yanıtı belirsizliğini kullanmak yerine mutlak frekans yanıtı belirsizliği (kalibratöre bağlı) kullanılır. Konu ile ilgili karakteristik tabloları 3 örnek analizör modeli için Tablo 4.3' de verilmiştir.

Tablo 4.3. Agilent marka üç analizöre ait karakteristik verileri

Faktörler	8593E	8563E	E4407B
	Karakteristik Belirsizlik (\pm dB)	Karakteristik Belirsizlik (\pm dB)	Karakteristik Belirsizlik (\pm dB)
Frekans yanıtı	1,0 ile 2,0 (bağlı)	1,0 ile 3,3 (bağlı)	0,5 ile 2,0 (bağlı)
Ölçekleme Uygunluğu	1,1 En fazla (70 dB Aralıkta)	0,85 En fazla (90 dB Aralıkta)	1,15 En fazla (85 dB Aralıkta RBW \geq 1 kHz) 1,28 En fazla (98 dB Aralıkta RBW \leq 300 Hz)

Örnek bir çalışma olarak 2 farklı cihaz ile gerçekleştirilen ikinci harmonik ölçümünde temel işaret 10 GHz'de ve ikinci harmonik genlik değeri -85 dBc'dir. Agilent 8563E spektrum analizör için karakteristik değerlerine göre belirsizlik hesaplanırsa,

10 GHz'de frekans yanıtı	$\pm 2,2$ dB
20 GHz'de frekans yanıtı	$\pm 2,5$ dB
Bant değiştirme belirsizliği	$\pm 1,0$ dB
Ölçekleme uygunluğu	$\pm 0,85$ dB
Toplam belirsizlik	$\pm 6,55$ dB

Aynı hesaplama 8593E için yapıldığında, mutlak frekans yanıtı değeri kullanılmalıdır. Çünkü belirtilen değer bantlar arası ölçümdür ve bant değiştirme

belirsizliği tanımlanmamıştır. Frekans yanıtı belirsizliği 10GHz'de +2,5dB ve 20GHz'de ±3,0dB'dir. Dikkat edilmesi gereken nokta, ölçekleme doğruluğu uygunluğu karakteristiğinin (0 ; -70 dB) aralığında verilmiş olmasıdır. Yapılan ölçüm -85 dBc'de olduğu için, ilk spektrum analizörde kullanılan farklı bir yöntem izlemek gerekecektir. Temel frekans ölçüldükten sonra, referans genlik seviyesi -20 dBm'e indirilir. Temel frekans ölçümünde referans genlik seviyesi 0 dBm olarak ayarlanmıştır. Bu işlem IF kazanç belirsizliği ortaya çıkarmasına rağmen, ölçümü gerçekleştirmek için uygundur. Belirsizlik bu durumda hesaplandığında;

10 GHz'de frekans yanıtı (0 dBm referans seviye)	±2,5 dB
20 GHz'de frekans yanıtı (-20 dBm referans seviye)	±3,0 dB
Ölçekleme uygunluğu	±1,05 dB
Referans seviye doğruluğu (0 dBm)=0,3dB+0,1*20	±0,5 dB
Toplam belirsizlik	±7,05 dB

4.3.3. Mutlak ölçüm (Tek marker ile)

Mutlak doğruluk, eğer sadece frekans ve genlik değerleri değişıyorsa, kalibratör doğruluğu, kalibratörden çıkan işaretin mutlak frekans yanıtı ve kalibratör genlik seviyesi değişmeden oluşan IF kazanç belirsizliği faktörlerine bağımlıdır. Analizörün referans genlik seviyesinde bir işaret ölçümü için mutlak genlik belirsizliği: kalibratör belirsizliği ile mutlak frekans yanıtı belirsizliğinin toplamıdır. Referans genlik seviyesinden farklı bir genlik değerini ölçümünde, işaretin en yüksek doğrulukla görüntülenebilmesi için, referans genlik seviyesi uygun değere ayarlanır. Bu durumda mutlak genlik belirsizliği; referans seviye, frekans yanıtı ve kalibratör belirsizliklerinin toplamıdır.

8593E'ye oranla daha geniş görüntüleme aralığına sahip olan 8563E ile yapılan ölçüm daha küçük belirsizlik değerine sahiptir ve referans seviye değişikliği gerektirmemektedir. E4407B ise bu ölçümü daha düşük belirsizlik değerini elde edilebilir.

4.4. Hatalar

Belirsizlikler, ölçümlerimizde azaltabileceğimiz hata tipleridir. Aşağıda açıklanan hata kaynakları ise genlik ölçümlerinde göz önüne alınması gereken faktörlerdendir. Spektrum analizör ekranındaki herbir nokta, IF geçiş bandındaki tüm enerjinin toplamını yansıtmaktadır. Bu yüzden, işaretin görüntülenen genliği, aslında işaret seviyesi ile gürültü seviyesinin toplamını verir. Eklenen bu gürültü yüzünden görüntülenen işaretin genliği gerçek değerinden yüksektir. İşaretlerin ölçümü, görüntülenen ortalama gürültü seviyesine yaklaştıkça, gürültü etkisinden kaynaklanan genlik hatalarının etkisi ortaya çıkar. Bu hatalar işaret/gürültü oranına bağlı olarak etkin yada pasif rol oynarlar.

Gürültü seviyesinin 10dB ve üzerinde yer alan işaretler için hata önemsiz seviyelerdedir. Benzer hata durumu, farklı genlikte ve birbirlerine çok yakın işaretlerin ölçümü sırasında da ortaya çıkar. Bu durum, her iki işaretin de IF katını birlikte geçip algılandığı durumlarda oluşur.

4.4.1. Toplam genlik doğruluğu

Bazı spektrum analizörlerde toplam mutlak genlik doğruluğu açıkça belirtilmektedir. Bu karakteristik değeri kesin sınır koşulların da ölçüm yaparken genlik doğruluğunu kolaylıkla hesaplayabilmek için, mutlak frekans yanıtı belirsizliği değerine eklenebilecek bir değer verir.

4.5. Toplam ölçüm belirsizliğin azaltılması

4.5.1. Kontrol değişikliklerinin minimize edilmesi

Ölçüm verileri alınmadan önce, ölçüm adımları sırasında hangi kontrollerinin değiştiğine dikkat edilmelidir. Eğer ölçüm esnasında giriş zayıflatıcı ayarlarını, çözünürlük bant genişliği ve görüntü ölçeklemesi gibi ayarlardan sadece birinde değişiklik yapıldı ise bu değişiklikten kaynaklanan belirsizlik değeri gözardı edilebilir. En yüksek doğruluk elde etmek için ölçümün yapılacağı kontrollerde kalibrasyon yapılmalıdır.

4.5.2. Ölçek doğruluğundan IF kazancının çıkarılması

Eğer referans genlik seviyesi (IF kazancı) belirsizliği ölçekleme doğruluğundan az ise; aynı düzey pozisyonda bulunan işaretleri, referans genlik seviyesi kontrolünü kullanarak ölçüp, bağıl ölçüm belirsizliği minimize edilebilir. Bu sayede ölçekleme doğruluğu da elimine edilmiş olur.

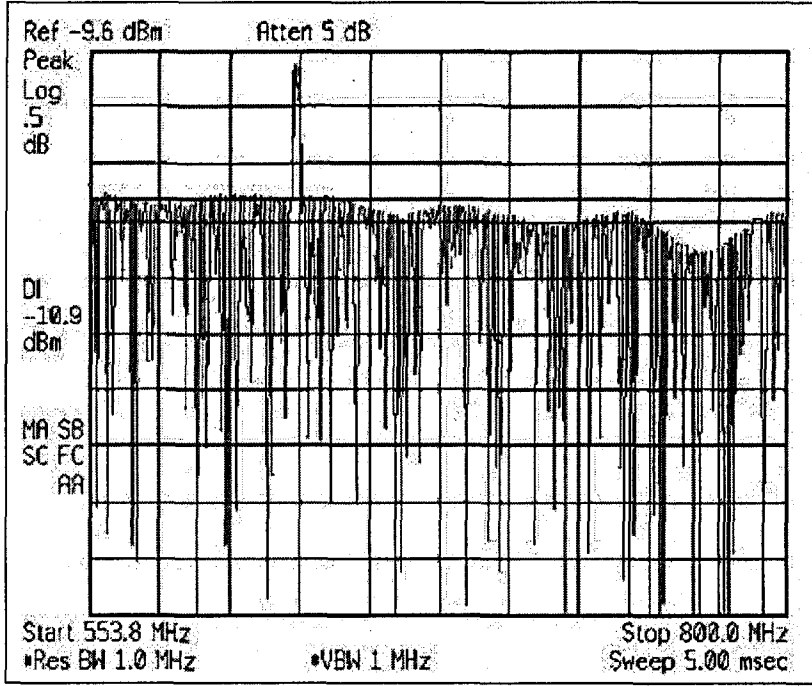
İlk işaret, referans seviye kontrolü kullanılarak, referans genlik değerine konumlandırılır ve genlik değerini belirlemek için marker kullanılır. Ardından ikinci işareti aynı referans genlik değerine (marker tarafından ölçülen) çekmek için referans seviye ayarı yapılır ve bağıl genlik değerini saptamak için iki referans ayarı arası fark değeri bulunur.

4.5.3. Self – kalibrasyon

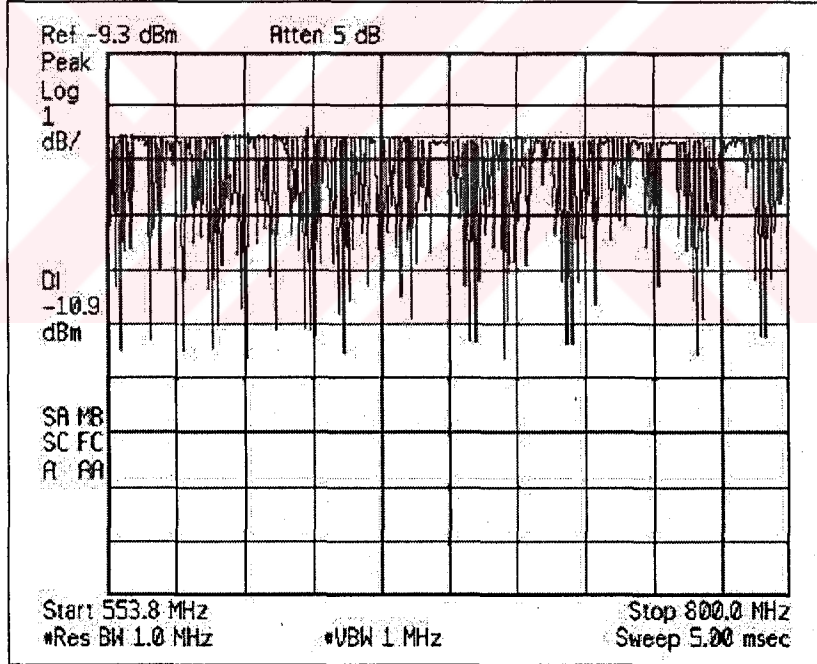
Günümüzde kullanılan spektrum analizörlerin bir çoğu self-kalibrasyon döngülerine sahiptir. Bu döngüler hata kodlarının tespitini sağlarlar. Ayrıca doğru genlik ölçümleri yapılmasına yardımcı olur ve ölçüm sırasında kontrollerin rahatlıkla değiştirilebilmesine olanak sağlar. Bunun dışında belirsizlik karakteristik değerleri self-kalibrasyonun yapıldığı göz önüne alınarak verilmişlerdir, bu yüzden analizörün tanımlanan doğruluk değerlerinde kullanım için self-kalibrasyon gereklidir.

4.5.4. Genlik doğrulama (Ampcor)

Bazı spektrum analizörler kendi içlerinde genlik doğrulama döngülerine sahiptirler. Bu döngüler belirli değerlerdeki frekans yanıtı verilerini bir tablo halinde bulundurlar ve ölçülen verinin değerine göre uygun olan değeri, doğru görüntüleme bilgisinin oluşturulması için kullanırlar. Spektrum analizör, Ampcor fonksiyonuyla kullanıldığında, ölçülen cihaz ile analizör arasında bağılı bulunan kablo, adaptör gibi ara elemanlardan da kaynaklanan giriş işareti üzerindeki istenmeyen değişimleri elimine etme imkan verir. Sonuçta işaretin izi, analizör ile test edilen cihazın çıkışındaki gerçek işaret genliğini göstermektedir (Şekil 4.5).



a)



Şekil 4.5 a) Spektrum analizörde görüntülenen giriş işareti

b) Ampcor ile düzeltilmiş giriş işareti

4.5.5. Görüntüleme duyarlılığı

Görüntülenen işaret genliği önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, işaret ve gürültü toplamından oluşur. Analizörün gürültü tabanına yakın değerdeki işaretler için (10 dB'lik aralıktaki) görüntülenen genlik ile gerçek genlik arası hata değeri önem taşır.

Bu yüzden düşük seviyeli işaretlerin ölçümünde, analizörün gürültü seviyesi olabildiğince düşük değerli olmalıdır. Gürültü seviyesinin bant genişliğine bağlı olduğu durumlarda ölçümleri olabildiğinde dar bant genişliği çözünürlüğünde yapmak uygun olur. Elbette ki her zaman dar çözünürlük bant genişliği değerleri kullanılamaz, uzun tarama sürelerinde daha geniş değerler kullanılmak zorundadır. Buna rağmen sayısal çözünürlük bant genişliği filtreleri kısa tarama sürelerinde analog filtrelere oranla daha dar çözünürlük bant genişliği değerleri kullanılabilmesine izin vermektedir.

Gürültü seviyesine yakın işaretlerin ölçümünde, daha stabil ve tekrarlanabilir ölçümler için video filtreleme kullanılır. Daha dar video bant genişliği değerleri kullanılması imkanı yoksa, video ortalaması alınarak görüntülenen işaretin ekrandaki izinin sayısal olarak yuvarlatılması sağlanabilir.

Analizör girişi ile ölçülen cihaz arasına bağlanan her eleman (harici zayıflatıcı gibi) kendi eklemeye kaybı ve uygunsuzluk değerlerine bağlı olarak ölçüm duyarlılığını azaltır.

4.5.6. Ön yükseltme

Sınırlı IF kazancı nedeniyle, küçük seviyeli işaretler logaritmik görüntüleme için yeterli değerlere yükseltilemezler. Bazı spektrum analizörlerde bu işaretler için dahili bir ön yükseltici mevcuttur. Bununla beraber ön yükselticinin kazanç doğruluğu (düzgünlüğü) ve bağlantı uygunsuzluğu toplam doğruluğu etkileyebilir. Ayrıca gerçek işaret seviyesinin belirlenmesi için ön yükselticinin kazancı mutlaka ölçülen işaret seviyesinden çıkartılmalıdır. Ön yükseltici kazanç belirsizliği de, toplam ölçüm belirsizliğine etki eder. Bu eklenen belirsizlik değeri, ölçek doğruluğu belirsizliği değerinden büyük olabilir.

4.5.7. Bağlantı uygunsuzluğunun azaltılması

Bağlantı uygunsuzluğu, zayıflatıcı girişine uygun şekilde eklenmiş bir bağlantı sağlanması ile azaltılabilir. Analizörün bağlantı uygunsuzluğunun en kötü (yüksek)

değerde olduğu durum giriş zayıflatıcısının 0 dB'ye ayarlandığı durumdur. Bu yüzden zayıflatıcısının 0 dB değerine ayarlı olduğu durumdan mümkün olduğunca uzak durulmalıdır.



BÖLÜM 5. SPEKTRUM ANALİZÖRÜN ÖLÇÜM HIZINI ETKİLEYEN ETMENLER

Spektrum analizörün ölçüm hızı, işlem adımları süresini önemli ölçüde etkiler. Ölçüm aşamasındaki harcanan zaman özellikle endüstriyel uygulamalarda etkin rol oynamaktadır. Örneğin spektrum analizörün düşük ısınma süresine sahip olması, cihazı kullanmadan önce uzun süre beklenmesi gerekliliğini ortadan kaldırır. Düşük ısınma süresi aynı zamanda kendi üzerindeki enerji kaynağından beslenen cihazlar içinde enerji tasarrufu anlamına gelir.

5.1. İşleme Süresi

İşleme süresi, spektrum analizörün ölçümü yaptıktan sonra kendi iç çalışması için harcadığı temel süredir. Bu süre alınan veriyi görüntülenebilir bilgi haline getirmek, yeni tarama için hazırlanmak ve bilgiyi harici bir kaynağa aktarmak gibi iç işleri için cihazın ihtiyaç duyduğu zamanı tanımlar. Günümüzde kullanıcılar spektrum analizörlerin daha çok veriyi farklı fonksiyon ve modları kullanarak işlemesini talep etmektedirler. Tüm bu işlevler spektrum analizörün ölçüm başına işleme süresini artırır ve hızını belirli oranlarda düşürür.

5.2. Giriş/Çıkış Trafiki İçin Geçen Zaman

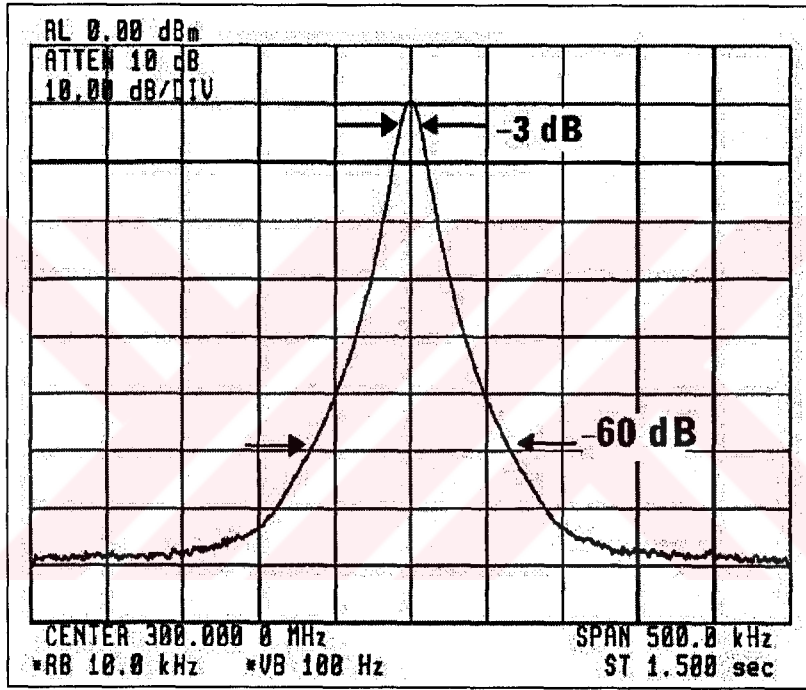
Uzaktan kontrol uygulamalarında, giriş/çıkış trafiğinde geçen zaman ölçüm zamanları ile kıyaslandığında bilgisayar ve arayüz protokollerinin gelişimiyle birlikte önemsenmeyecek derecelere kadar inmiştir. Buna rağmen işleme zamanındaki azalma ve iyileştirmeden söz edilirken giriş/çıkış trafiği zamanı bir bileşen olarak gözönüne alınmalıdır.

5.3. Süpürme Zamanı

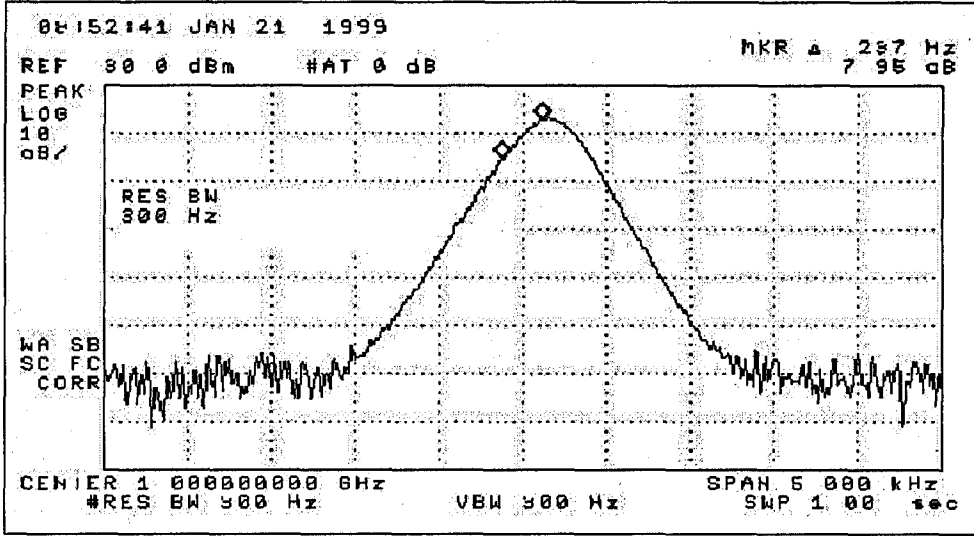
RF ve mikrodalga spektrum analizörleri tüm ölçüm aralığı değerlerinde 5ms den yüzlerce saniyelik tarama aralıklarına kadar kalibrasyonlu ölçüm yapabilirler. Süpürme zamanı, çözünürlük bant genişliği filtresine, ölçüm frekans aralığına ve spektrum analizörün dizaynına bağlıdır.

5.4. Çözünürlük bant genişliği filtresinin seçimi

Çözünürlük bant genişliği seçiciliği, -60 dB'deki filtre genişliğinin -3dB'dekine oranıdır (Şekil 5.1). Daha keskin filtre daha küçük seçicilik verir. Şekil 5.2'de 300Hz'lik analog çözünürlük bant genişliği filtresi kullanıldığı durumdaki çıkış işareti görüntülenmektedir. Seçilen filtrenin genişliğinden dolayı sadece daha geniş işaretler tanımlanabilir. Çözünürlük bant genişliği filtresi en azından iki işaretin birlikte çözümlenebileceği oranda bir genişliğe sahip olmalıdır.

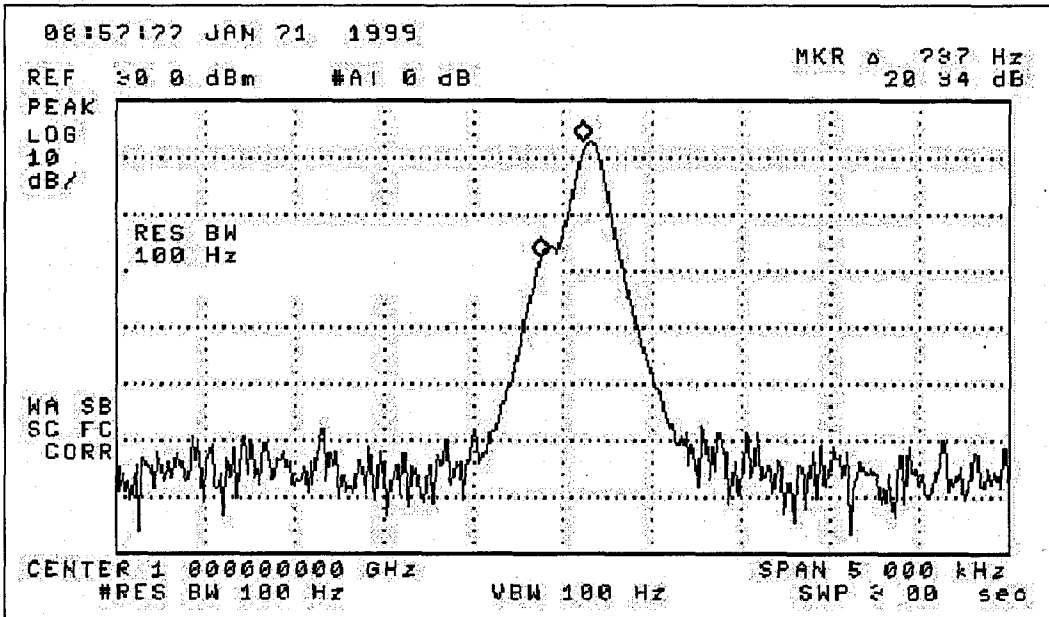


Şekil 5.1. Çözünürlük bant genişliği seçiciliği



Şekil 5.2. 300Hz Analog çözünürlük bant genişliği filtresi

Şekil 5.3'de band geçiren filtre çıkışında 100 Hz'lik analog çözünürlük bant genişliği filtresi kullanılması durumu gösterilmektedir. Seçilen çözünürlük bant genişliği filtresi 240 Hz'lik işaretleri diğer işaretlerden çözümlenmeye yeterli, sınırlı genişliğe sahip olmasına rağmen analog çözünürlük bant genişliği filtresinin 15:1 seçiciliği çok geniş kalmıştır. Daha küçük olan 16 Hz'lik işaret hala görüntülenmemiş ve daha büyük olan işaretin saçak kısmında saklı kalmıştır. Buradan daha dar bir değerdeki filtre gerekliliği görülmektedir.



Şekil 5.3. 100Hz Analog çözünürlük bant genişliği filtresi

5.5. Çalışma Modları

Spektrum analizörler ile ölçüm gerçekleştirilirken, analizörün doğrudan kontrol edilerek ölçüm yapılan “tek başına çalışma modu” ve test sistemi ile analizörün bir bilgisayar kontrolü ile yönetildiği mod olan “uzaktan çalışma modu” kullanılabilir.

5.5.1. Tek başına çalışma modu

Tek başına çalışma modu genellikle, kullanıcının bir veya daha fazla işareti analiz etmek istediğinde yada bir elemanı özel bir değere göre ayarlamak istendiği durumlarda kullanılır. Ölçüm hızının iyileştirilmesi başlığı altında istenilen çalışma modu, hızlı yanıtı bir çalışma modudur.

Bu hızlı yanıtı alabilmek için, yenileme hızı saniyede 25 ile 30 olan sürekli ölçüm yada bu kadarlık ekran tazeleme oranı şeklinde uygulanmalıdır. Bu seçim otomatik sistem dışında yani el ile yapılan ayarlamalardan meydana gelebilecek tüm zaman gecikmelerinin ekrana yansımalarını minimize eder.

5.5.2. Uzaktan çalışma modu

Bilgisayar kontrollü spektrum analizörlerde, tek başına çalışma modundaki etmenlere ilave olarak verilerin dışarıya gönderilip alınması süresi de eklenir. Eklenen bu işleme zamanı tazeleme süresini hissedilir derecede yavaşlatır. Spektrum analizörler bilgisayar ile haberleşmelerini GPIB, RS232 gibi arayüzler üzerinden gerçekleştirebilirler. Analizörler genlik bilgisini çeşitli formatlarda saklarlar. Düşük işleme zamanına sahip formatın seçilmesi harcanan toplam süreyi büyük oranda azaltır.

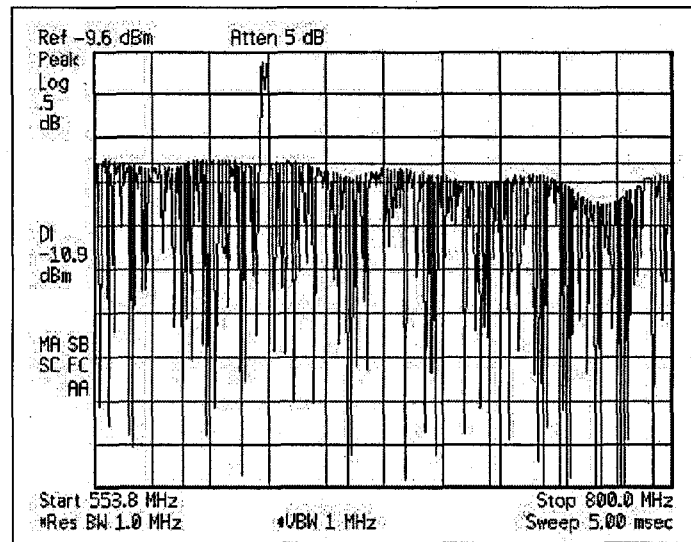
BÖLÜM 6. SPEKTRUM ANALİZÖRLERDE ÖLÇÜM SONUÇLARINI İYİLEŞTİRİCİ YÖNTEMLER

Tüm spektrum analizör ölçümlerinde başlıca 3 adım vardır.

- Giriş işaretinin ölçüme hazırlanması
- Spektrum analizörün ölçüme hazırlanması
- Sonuçların değerlendirilip, anlamlı hale getirilmesi

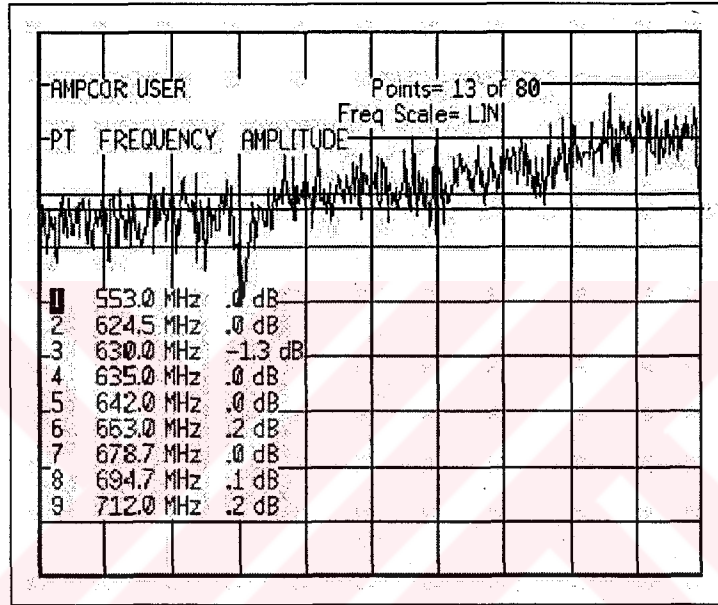
6.1. Genlik Doğrulaması İle Genlik Ölçümlerinin İyileştirilmesi

Spektrum analizör ile doğru genlik ölçümü yapabilmek için, ölçümü yapılan cihazdan ilgilenilen işaretin ölçülmesine kadar, aradaki tüm etkiler büyük önem taşır. Spektrum analizörün “Ampcor” fonksiyonu, frekans ve genlik çiftlerinin bir listesini tutar, ölçülecek cihaza bağlantı sağlandığında işaret dalga şekli üzerinde bir doğrulama yapar ve bu doğrulama değerine bağlı olarak giriş işaretine öngerilim (offset) değeri verir. Şekil 6.1’de işaret gönderim probundan alınan frekans yanıtı görüntüsü verilmektedir. Burada sadece test edilen cihazın çıkış işareti değil, aynı zamanda bu işarete eklenmiş gürültü bileşenleri de görülmektedir. Bu istenmeyen etkileri engellemek için; İlk olarak bir işaret kaynağı ve güç metre ile ölçüm aralığındaki problemleri noktalarındaki zayıflama/kazanç değerleri ölçülür.

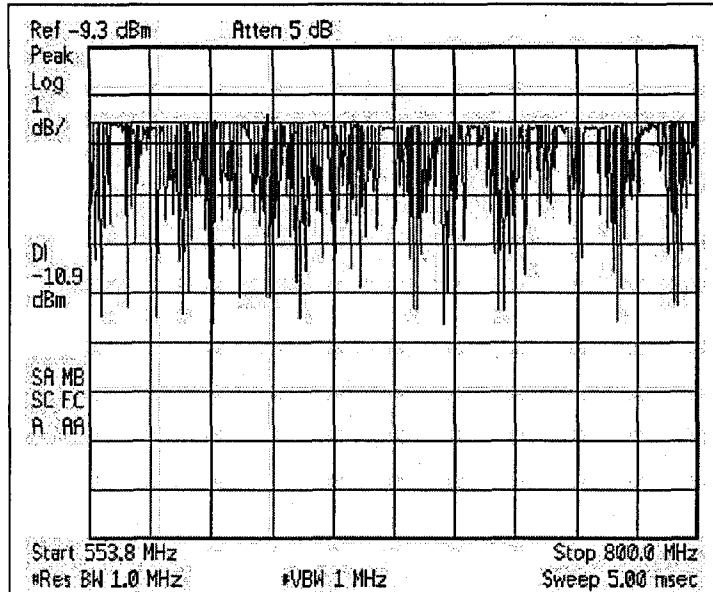


Şekil 6.1. Giriş işareti

Örneğin 600MHz'de sistemden güç metreye doğru 0 dBm işaret gönderilir. Güç metreden okunan değer, bu frekans noktasındaki zayıflamayı yada kazanç değerini belirtir. Bu işlemin istenilen frekans aralığının farklı noktalarında yapılması, "Ampcor" tarafından kullanılan genlik-frekans tablolarını oluşturacaktır. Şekil 6.2'de bir "Ampcor" tablosu ve arka planda bağlı genlik doğrulaması yapılmış işaret görülmektedir. Son aşamada Ampcor fonksiyonu açılarak istenmeyen zayıflamalar ve işaret gönderim ağının kazanç değerleri ölçüm değerinden elimine edilir.



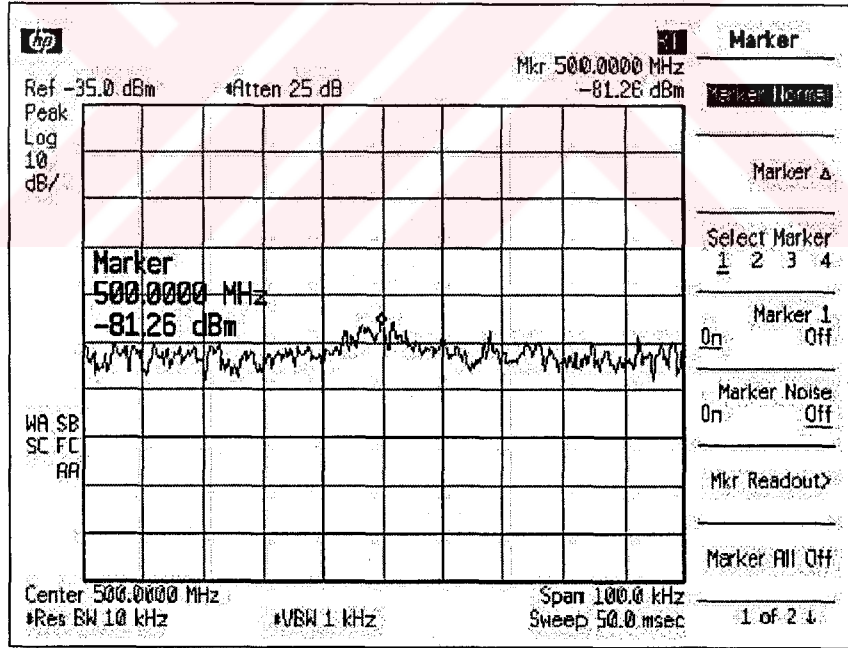
Şekil 6.2. Ampcor düzeltme tablosu



Şekil 6.3. Şekil 6.1'deki işaretin Ampcor ile düzeltilmiş hali

6.2. Düşük Genlik Seviyeli İşaretlerin Ölçümü

Spektrum analizörün düşük seviyeli işaretleri ölçebilme yetkinliği, spektrum içinde üretilen dahili gürültü seviyesi tarafından sınırlandırılmıştır. Düşük genlik seviyeli işaret hassasiyeti ölçüm ayarları tarafından belirlenir. Şekil 6.4'deki ölçüm örneğinde 500MHz'deki işaretin analizörün gürültü tabanı tarafından örtüldüğü görülmektedir. Spektrum analizörün ne kadar küçük işaret genliklerini ölçülebileceğinin belirlenmesinde, analizörün giriş zayıflatıcıları ve bant genişliği çözünürlüğü anahtar rol oynar. Giriş zayıflatıcısı, çalıştırıldığında karıştırıcı girişindeki işaretin genliğini azaltır. Karıştırıcı çıkışında bulunan bir yükselteç zayıflatılmış işareti yeniden yükselterek işaretin tepe değerinin analizör ekranında aynı noktada ve aynı değerde görüntülenmesini sağlar. Bu yüzden yükseltilmiş giriş işareti ile birlikte analizör gürültüsünde yükseltilir. Bu da analizör tarafından görüntülenen gürültü seviyesini artırıcı etkide bulunur.

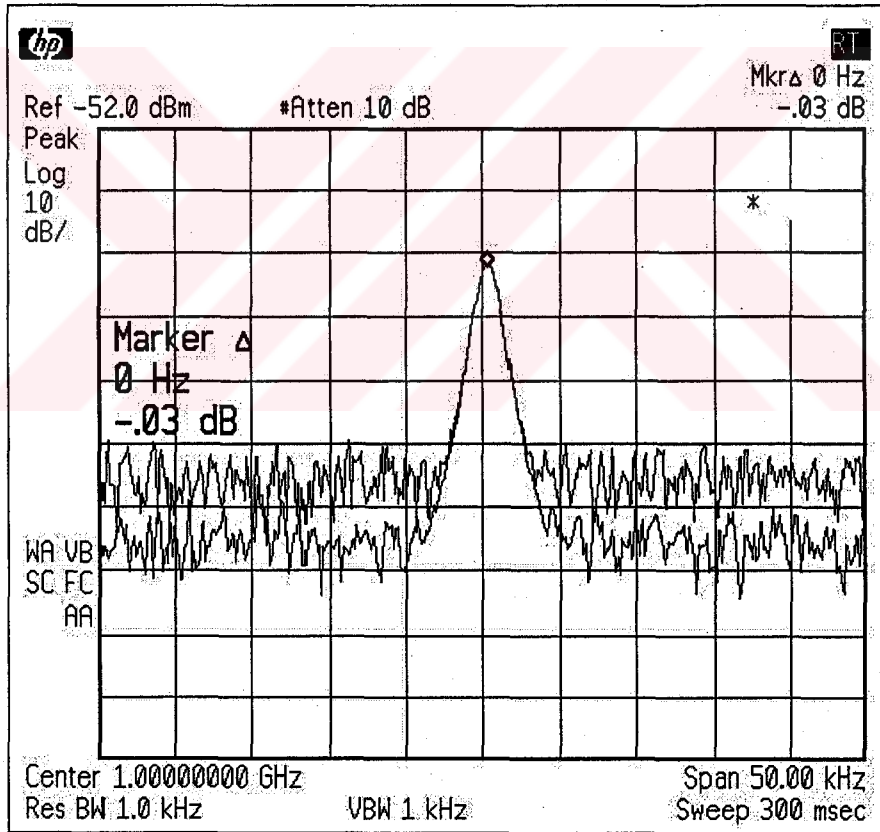


Şekil 6.4. Gürültü tarafından örtülmüş giriş işareti ölçümü

Bant genişliği çözünürlüğü filtresi, düşük değerli bir işaretin, yüksek değerli olanın yanında nasıl görüntüleneceğini belirler. Bu filtrenin genişliğinin artırılması analizörün zarf dedektörüne daha fazla gürültü ulaşmasına izin verir.

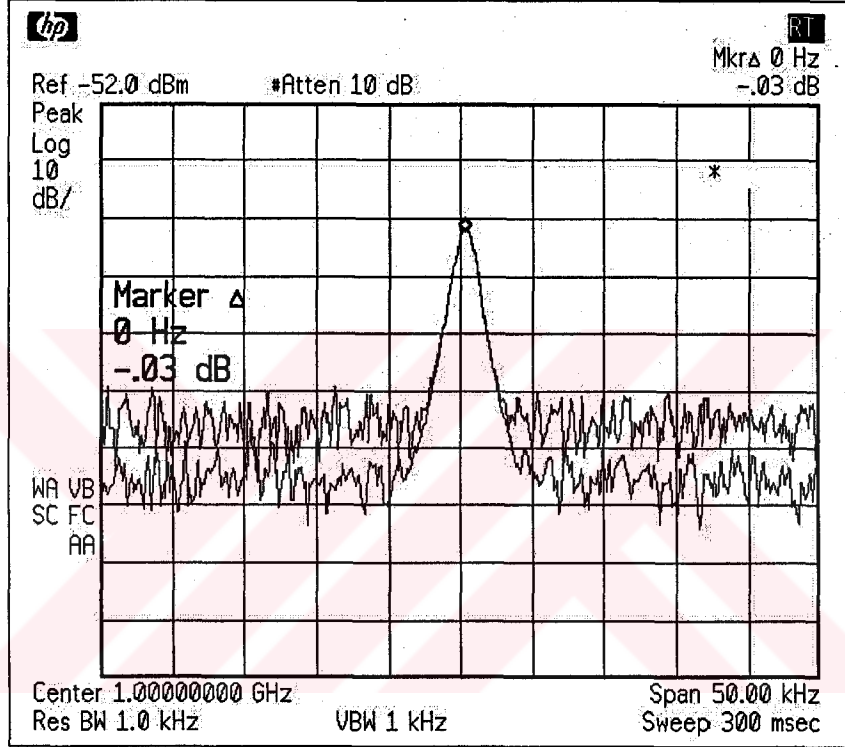
6.3. Dahili Gürültü Bileşenlerinin Tanımlanması

Yüksek genlik seviyeli giriş işaretleri, spektrum analizörün dahili gürültü bileşenlerinin giriş işaretindeki gürültünün etkisi ile maskelenmesine neden olabilirler. İkili işaret izi (dual trace) ve analizörün RF zayıflatıcısı kullanılarak hangi işaretlerin dahili gürültü bileşenleri taşıdığı belirlenebilir. Bu bileşenleri tanımlamak için, giriş işaretinin ikinci harmoniği bulunur ve giriş zayıflatıcısı 0 dB'm'e ayarlanır. Ardından ekran verileri "Trace B"ye kaydedilir. "Trace A" aktif iz olarak seçilir ve "Marker Δ " aktif edilir. Spektrum analizör kaydedilen veriyi Trace B ve ölçülen veriyi Trace A olarak görüntülerken "Marker Δ " iki iz arası frekans ve genlik farklarını verir.



Şekil 6.7. Dahili üretilen gürültü bileşenleri

Son olarak RF zayıflama 10 dB'ye çıkarılarak Trace A yanıtı, Trace B yanıtı ile karşılaştırılır. Eğer yanıtlar farklı ise o zaman analizörün karıştırıcı katı giriş işaretinin yüksek genlik seviyeli olmasından dolayı dahili gürültü bileşenleri üretmektedir (Şekil 6.7). Bu durumda zayıflatma gereklidir. Şekil 6.8'de görüldüğü gibi işaret seviyesinde değişim yoksa, gürültü dahili nedenli değildir. Yani gürültü giriş işaretinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.8. Harici üretilen gürültü bileşenleri

6.4. En İyi Görüntü Algılama Modunun Seçimi

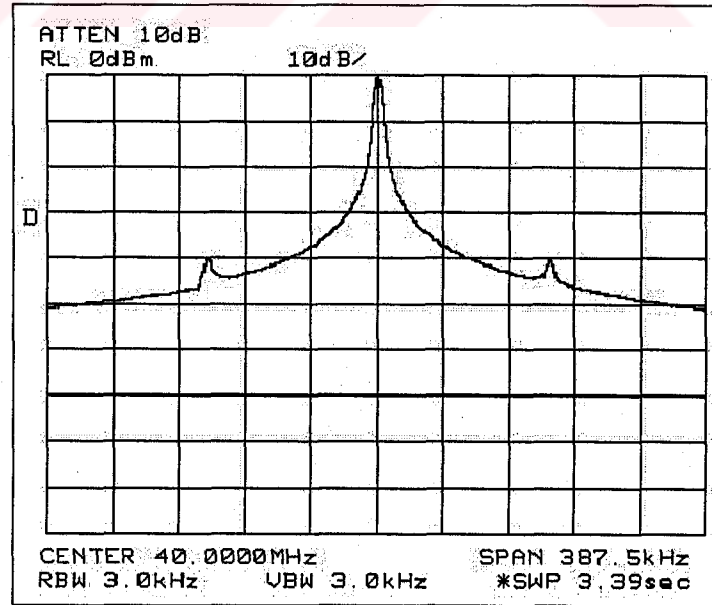
Spektrum analizörler giriş işaretini anlamlandırmak ve görüntülemek için genellikle iki yada üç algılama moduna sahiptirler. Tepe algılama modu her bir adımdaki en yüksek değeri algılar. Bu mod sinüzoidal işaretlerin analizi için uygundur. Örnekleme algılama modu, her bir adımın son noktasını algılar. Bu mod gürültü ölçümleri için uygundur ve gürültünün beklenmedik işaretlerini doğru olarak belirler. Buna rağmen örnekleme algılama, sürekli işaretlerin ölçümünde özellikle dar bant genişliği çözünürlüklerinde uygun değildir. Negatif tepe algılama modu her bir adımdaki en düşük değeri görüntüler. Bu mod AM/FM demodülasyon ve rastgele

gürültü ile darbe gürültüsü arası ayırımı yapabilmek için uygundur. Negatif darbe algılama modu, gürültü tabanını düşürmesine rağmen analizöre daha iyi hassasiyet sağlayamaz.

6.5. Taşma (Burst) İşaretlerinin Ölçümü; Zaman Geçitli Spektrum Analiz

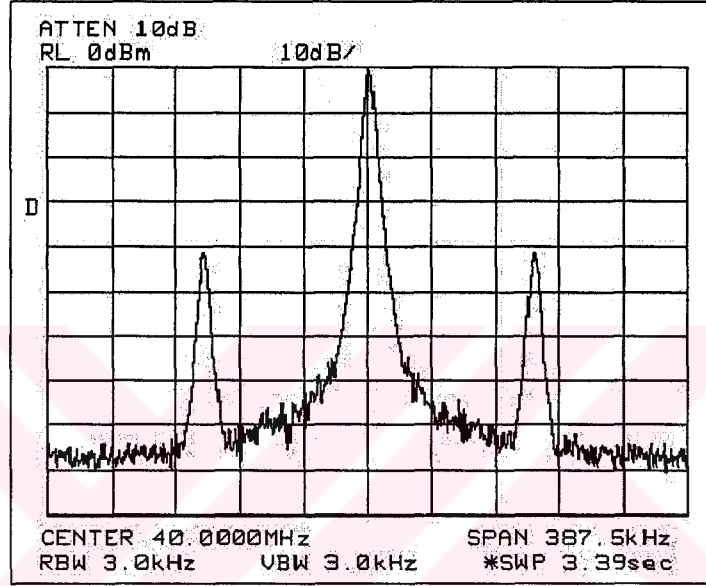
Darbe şekline benzer işaretlerin spektrum analizör ile analizi, oldukça zordur. Çünkü darbe tarafından taşınan bilginin görüntülenmesi, oluşan darbe zarfının analizi ile mümkündür. Darbe zarfının keskin yükselme ve düşme zamanları, orjinal işaretin frekans içeriğine istenmeyen bileşenler katabilir. Bu istenmeyen frekans bileşenleri, incelenen işaretin içeriğinin anlaşılmasını zorlaştırabilir.

Şekil 6.9'da örnek olarak, basit bir AM (genlik modülasyonlu) işaret taşıyan darbeye ait frekans bileşenleri görülmektedir. Bu durumda, AM yan bantları darbe zarfının spektral gürültüleri tarafından bastırılmıştır. Zaman geçişli spektral analiz; darbe içeriğinin, darbe zarfının etkileri olmadan analizine olanak tanır. Zaman geçidi ile anlatılmak istenilen, spektrum analizörün video görüntüleme yolu üzerinde bir geçit açılması işlemidir.



Şekil 6.9. Zaman geçitsiz modülasyonlu işaret

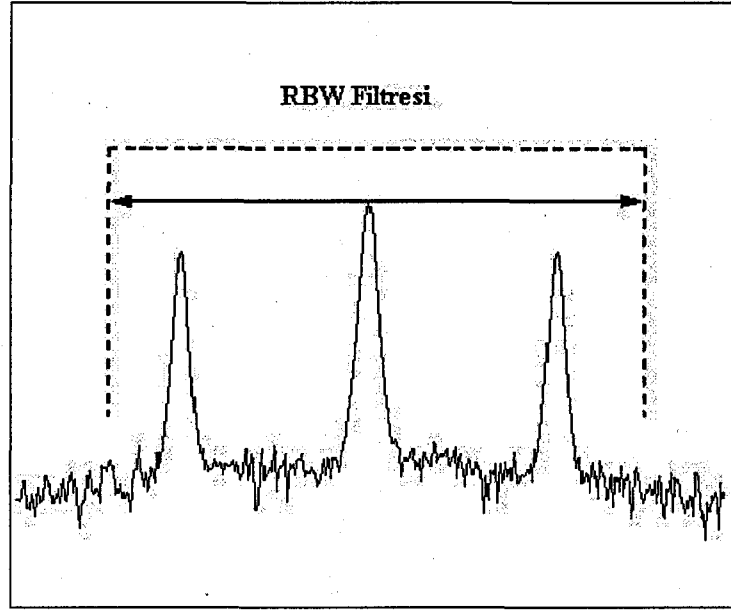
Zaman geçitli limde analizör, işaretle darbe yükselmesinin başlangıcını algılar. Ardından, bir gecikme ile tetikler. Bu sayede znrlk filtresi darbenin keskin akışını tepki verecek zamanı kazanır ve son olarak taşmanın bitiminden önce analiz edilmiş olur. Şekil 6.10'da görüldüğü gibi 40 MHz'lik taşıyıcı 100 kHz'lik sinüzoidal işaret ile modüle edilmiş ve işaret ile yan bantlar açıkça görüntülenmektedir.



Şekil 6.10. Zaman geçitli işaret

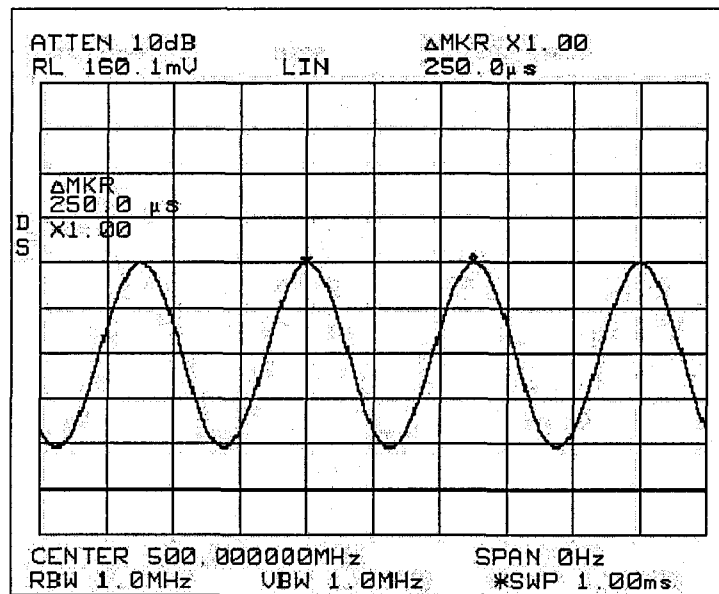
6.6. Sıfır lm Aralığı (Zero Span) ve FFT kullanılarak Genlik Modülasyonu lmleri

Spektrum analizörler, süpürme-ayarlı frekans modunun dışında, osiloskoplarda olduğu gibi zaman domeninde ölçüm yapabilmek için sabit-ayarlı mod olarak da adlandırılan sıfır frekans aralığı değerine ayarlanmak suretiyle kullanılabilirler. Sıfır frekans aralığı modunun en iyi kullanım alanlarından biri, genlik modülasyonu ölçümlerinin hızlı yapılmasıdır. Bu lmde analizörün merkez frekansı, genlik modülasyonlu işaretin taşıyıcı frekansına ve znrlk bant genişliği değeri de giriş işaretinin yan bantlarının bastırılmadan görüntülenebilmesi için yeterli olacak bir bant genişliği değerine ayarlanır. (Şekil 6.11)



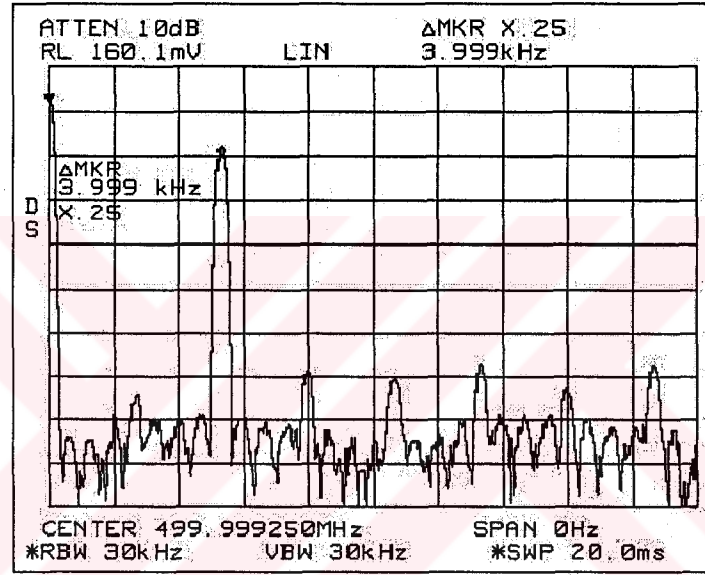
Şekil 6.11 Çözünürlük bant genişliği ayarları

Ardından analizörün frekans aralığı değeri 0 Hz'e çekilir. Bu işlem analizörün tarama işlerini durdurur, analizörün işaretin genliğini frekansta karşı zaman ekseninde görüntüleyen sabit-ayarlı bir alıcı gibi davranmasını sağlar. Analizörün doğrusal görüntüleme moduna ayarlanması ile, ekranda genlik modülasyonundan dolayı, taşıyıcı genliğinin sinüzoidal değişimi görüntülenir. Şekil 6.12'de taşıyıcı işaretin 4kHz sinüzoidal işaret tarafından modüle edilmiş hali gösterilmektedir.



Şekil 6.12 Sıfır ölçüm aralığı

Maksimum modülasyon frekansı, analizörün maksimum çözünürlük bant genişliği ve minimum tarama süresinin sıfır frekans aralığı kullanılarak hesaplanmasından elde edilebilir. Sıfır frekans aralığı, modüle edilmiş işaretin frekansını verirken, bu işaretin kalitesi hakkında bilgi yansıtmaz. Analizörde dahili FFT fonksiyonu uygulanarak modüle edilmiş işaretin frekans bileşenlerine ulaşılabilir. FFT uygulandığı durumda görüntülenen işarete Şekil 6.13 taşıyıcının yüksek doğrulukta 4 kHz'lik bir sinüzoidal işaret tarafından modüle edildiği, ekranın en solunda ki marker ile işaret frekans bileşenleri ile görüntülenir.



Şekil 6.13 Sıfır-frekans ölçüm aralığındaki işaretin FFT dönüşümü

BÖLÜM 7. ÖLÇME VE KALİBRASYON

Kalibrasyon, test ve ölçü aletinin belirli çevre şartlarında, (sıcaklık, nem, titreşim gibi) metrolojik özellikleri kesin bilinen referans standartlarla (etalon) karşılaştırılması, gösterdiği değerinin referans standarttan sapmasının tespit edilmesidir. Türk Standartları Enstitüsü'nün "TSE 5798 Metrolojide Kullanılan Terimler Sözlüğü" adlı standartında verilen diğer bir tanıma göre kalibrasyon, Belirli koşullar altında, bir ölçme cihazı veya bir ölçme sisteminin gösterdiği değerler veya, bir maddi ölçüt veya bir referans malzemenin verdiği değerler ile ölçüm standartları ile gerçekleştirilen bunlara karşılık gelen değerler arasındaki ilişkiyi kuran işlemler dizisidir.

Kalibrasyon, metrolojinin (ölçüm bilim) temel konularındandır. Metroloji, bilim ve teknolojinin hangi alanında gerçekleştiğine ve belirsizliğine bakılmaksızın ölçmeye dayanan uygulamalı ve teorik tüm konuları kapsar (TSE 5798). Kalibrasyonun tanımında, cihazın ölçüm sapmalarının ayarlanması ve cihaza teknik müdahale edilmesi bulunmamaktadır. Bu işlem genellikle kalibrasyonun ardından gerçekleştirilen ve cihazın yetkili teknik servisinde yapılan bir işlem olduğu için, ayarlama işleminin kalibrasyonun bir parçası olduğu şeklinde yaygın bir düşünce oluşmuştur. Cihaz üreticisi firmalara ait teknik servisler, sahip oldukları referanslar ile ürettikleri ölçüm cihazlarının önce kalibrasyonlarını gerçekleştirip, ardından gerekli ayarlama hizmetini vermektedirler. Özel sektörde hizmet veren bağımsız kalibrasyon laboratuvarları ise tarafsız olarak kalibrasyon ve sertifikasyon işlemi gerçekleştirmekte; ayarlama ve teknik müdahalede bulunmamaktadırlar.

Kalibrasyon işlemi temel olarak 4 aşamadan oluşur.

- Ölçüm
- Ölçüm belirsizliğinin hesaplanması
- Değerlendirme (kullanıcıya bırakılabilir.)
- Sertifikalandırma ve etiketleme

7.1 Metroloji ve Kalibrasyon ile İlgili Tanımlar

7.1.1. Uluslararası birimler sistemi, SI

Ölçü ve Ağırlıklar Genel Konferansı'nda (CGPM) kabul edilen ve önerilen koherent birimler sistemidir (7.1).

Tablo 7.1. Temel Büyüklükler

Büyükük	SI Temel Birim	
	Adı	Sembolü
Uzunluk	metre	m
Kütle	kilogram	kg
Zaman	saniye	s
Elektrik akımı	amper	A
Termodinamik sıcaklık	kelvin	K
Madde miktarı	mol	mol
Işık şiddeti	kandela	cd

7.1.2. Ölçüm prosedürü

Belirli bir ölçümün, belirli bir metoda uygun olarak gerçekleştirilmesinde kullanılan işlemlerin detaylı olarak tanımlanmış dizisidir.

7.1.3 İzlenebilirlik

Bir ölçüm sonucunun veya bir standartın değerinin belirli referanslarla, genellikle ulusal veya uluslar arası standartlarla, tamamının ölçüm belirsizliği belirlenmiş olan kesintisiz bir karşılaştırmalı ölçüm zinciri ile ilişkilendirilebilmesi özelliğidir.

7.1.4 Ölçüm belirsizliği

Ölçüm sonucu elde edilen değerinde mutlak bir hata payı vardır. Dolayısı ile büyüklüğün değeri hiçbir zaman tam olarak bilinemez. Yapılan ölçümlerde gerçek

değer hakkında tahmini bir değer elde edilir. Ölçüm belirsizliği, gerçek değer in hangi değerler arasında bulunduğunu karakterize eden tahmini değerdir.

Toplam ölçme belirsizliği u ile ve ölçüm sonucu M ile ifade edildiğinde, ölçüm sonucunun tam olarak gösterimi,

$$x = M \pm u \text{ şeklindedir.} \quad (7.1)$$

Toplam ölçüm belirsizliğinin hesaplanmasında ayrı belirsizlik bileşenleri 7.2 eşitliğinde belirtildiği şekilde toplanır. Belirsizlik bileşenlerinden büyük değere sahip olan baskın etki yapar.

$$s = \sqrt{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + \dots + s_n^2} \quad (7.2)$$

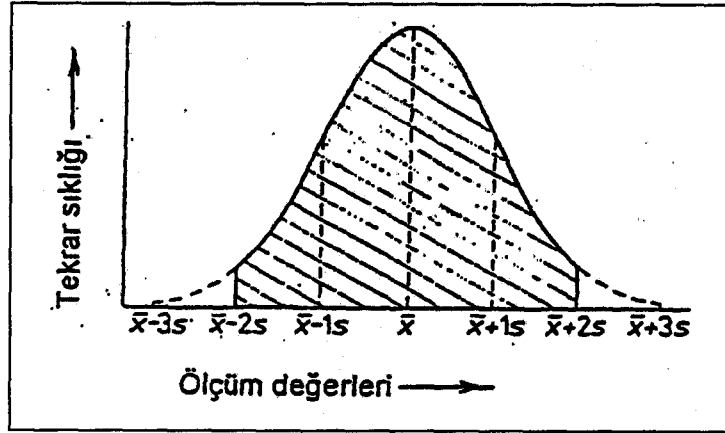
7.1.5 Standart sapma

Aynı ölçülen büyüklüğe ait n adet ölçümden oluşan bir seri için, eşitlik 7.3'de belirtilen formül ile verilen s büyüklüğü sonuçların dağılımını karakterize eder. X_i , i ' inci ölçüm sonucu ve \bar{x} ise değerlendirilen n adet ölçüm sonucunun aritmetik ortalamasıdır. Standart sapmanın hesaplanabilmesi için en az 10 adet ölçüm alınmalıdır

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (7.3)$$

7.1.6 Gauss dağılımı

Bir ölçü aletiyle, tekrar şartları altında yapılacak ölçümlerde elde edilen değerler, bu değerlerin aritmetik ortalaması etrafında dağılır. Tekrar yeterli sayıda olduğunda, elde edilen değerler bir Normal Dağılım (Gauss Dağılımı) meydana getirir (Şekil 7.1). Dağılım genişliği standart sapmanın katları şeklinde olup, rasgele hatanın belirlenmesinde temel alınan ölçüttür. $x-1s$ ile $x+1s$ arasında ölçülen değerlerin 68,3% ü, $x-2s$ ile $x+2s$ arasında 95,4% ü, $x-3s$ ile $x+3s$ arasında ise 99,7% si yer alır.



Şekil 7.1 Gauss dağılımı

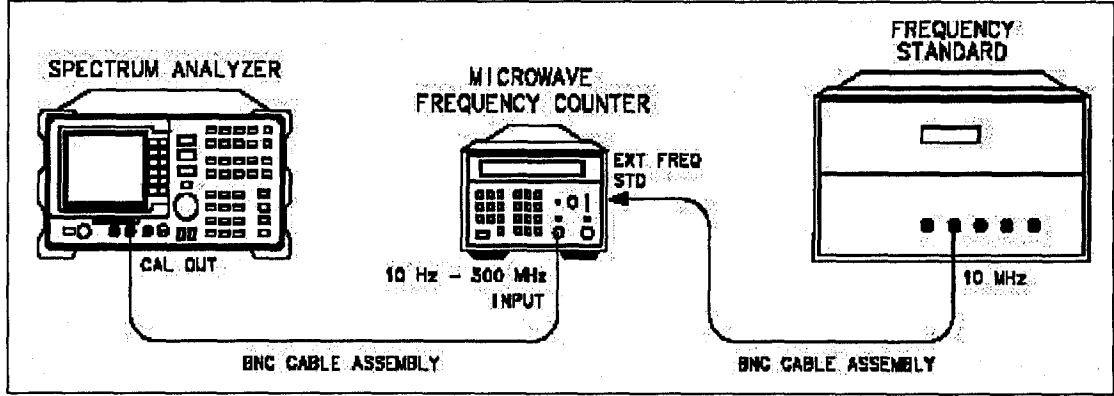
Ölçüm belirsizliği hesabında kullanılan bazı dağılımlar Tablo 7.2 de belirtilmiştir.

Tablo 7.2 Ölçüm belirsizliği hesabında kullanılan bazı dağılımlar

Tip	Normal	Üçgen	Dikdörtgen
Grafik Gösterimi			
Eşdeğer Standart Sapma	$s = \sigma$	$s = \frac{a}{\sqrt{6}} \approx 0,4a$	$s = \frac{a}{\sqrt{3}} \approx 0,6a$
Kullanım	Tekrar şartları altında ölçümler yapılmışsa	Kesin sınırlar kolaylıkla görülebiliyorsa. Örn; gürültü veya titreşimden kaynaklanan	Sadece değişim sınırları biliniyorsa. Örn; Kib. sertifikaları, imalatçı değerleri

8. ÖRNEK BİR KALİBRASYON PROSÜDÜRÜ VE UYGULAMASI

8.1. 10MHz Referans Osilatör Çıkışı Doğruluğu



Şekil 8.1. 10MHz Referans Osilatör Çıkışı Doğruluğu

Eğer dahili referans osilatör 10MHz değerinden saparsa ekranda REF UNLK yazısı görülür. Test sırasında ekranda REF UNLK yazısı görülmesi durumunda sonuçlar geçersiz olacaktır.

1. Analizör ve kalibratörler Şekil 8.1’de görüldüğü şekilde hazırlanır.
2. Frekans sayıcısı (counter) aşağıdaki değerlere göre ayarlanır.

SAMPLE RATE Midrange
50 Ω /1 Ω SWITCH 50 Ω
10 Hz-500 MHz/500 MHz-26.5 GHz
SWITCH 10 Hz-500 MHz
FREQUENCY STANDARD (Rear panel) ... EXTERNAL

3. Frekans sayıcının okuduğu değerler stabil hale gelinceye kadar beklenir. Okunan değer, sonuç tablosunun “Counter Reading1” hanesine kaydedilir.
4. Analizör aşağıda belirtilen ayar konumuna getirilir.

FREQUENCY, -37, Hz

CAL, More 1 of 4, More 2 of 4, VERIFY TIMEBASE

5. Analizörün aktif fonksiyon bloğundaki numara Tablo 8.1’e DAC ayarı olarak kaydedilir.

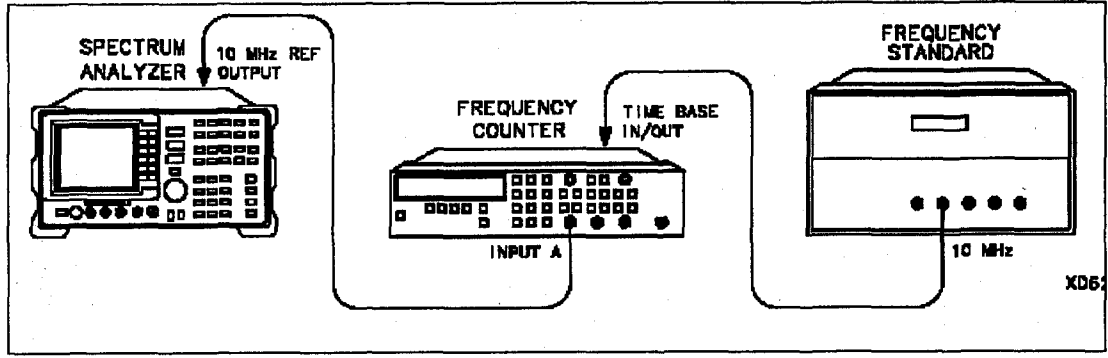
6. 5. adımda kaydedilen DAC değerine bir ekleyerek, bu yeni değer analizöre girilir. Örneğin, DAC değeri 105 ise, 1,0,6 Hz değeri girilir.
7. Frekans sayıcının okuduğu değerler kararlı hale gelinceye kadar beklenir. Okunan değeri, sonuç tablosunun “Counter Reading2” hanesine kaydedilir.
8. 5. adımda kaydedilen DAC değerinden bir çıkartarak, bu yeni değer analizöre girilir. Örneğin, DAC değeri 105 ise, 1,0,4 Hz değeri girilir.
9. Frekans sayıcının okuduğu değerler stabil hale gelinceye kadar beklenir. Okunan değeri, tablo 8.1’de “Counter Reading3” hanesine kaydedilir.
10. Aşağıda belirtilen hesaplamalar gerçekleştirilir.
 - “Counter Reading2” ile “Counter Reading1” arası fark bulunur.
 - “Counter Reading3” ile “Counter Reading1” arası fark bulunur.
 - Bu iki sonuçtan büyük değerli olanı, test sonuçları çizelgesinde TR Entry1 alanına kaydedilir.
 - Analizörün PRESET tuşuna basılır. Timebase DAC ayarları eski haline dönecektir.

Tablo 8.1. 10 MHz Referans doğruluğu

Description	Measurement
Counter Reading 1	_____ Hz
Timebase DAC Setting	_____
Counter Reading 2	_____ Hz
Counter Reading 3	_____ Hz

8.2. 10 MHz Frekans Çıkış Doğruluğu

Bu test 10MHz osilatörün ısınma süresi karakteristiğini belirler. Bu karakteristik cihazın yaşlanma etkisi üzerinde önemli rol oynar. Cihazın 10MHz REF OUTPUT çıkışına bir frekans sayıcı bağlanır. Analizör minimum 60 dakika kapalı kaldıktan sonra açılır. Açılıştan 5,30 ve 60 dakika sonra okunan frekans değerleri kaydedilir. Kaydedilen ilk iki değer ve son değer arası farklar hesaplanır.



Şekil 8.2. 10 MHz Frekans Çıkış Doğruluğu

1. Spektrum analizörü 60 dakika kapalı tutulur. Ardından Şekil 8.2'deki test kurulumu gerçekleştirilir.
2. Analizörün gücü açılır. Açılış anından itibaren süre tutmaya başlanır.
3. Frekans sayıcısını (counter) aşağıdaki değerlere ayarlanır.

FUNCTION/DATA	FREQ A
INPUT	A
X10 ATTN	OFF
AC	OFF
50 Ω Z	OFF
AUTO TRIG	ON
100 kHz FILTER A	OFF

4. Frekans sayıcısının GATE TIME ayarını 10s'ye ayarlanır. (GATE TIME 10 GATE TIME tuşları ile) Görüntülenen 10 MHz değeri ofset değeri girilerek kapatılır (MATH, SELECT/ENTER, CHS/EEX, 10, CHS/EEX, 6, SELECT/ENTER, SELECT/ENTER). Analizörün 10MHz değerinden sapma miktarı 0,001Hz çözünürlük ile görüntülenecektir.
5. İkinci adım açılış zamanından 5 dakika sonra gerçekleştirilir.
6. Okunan değer, tablo 8.2'de "Counter Reading1" hanesine kaydedilir.
7. Sonraki adım açılış zamanından 30 dakika sonra gerçekleştirilir.
8. Okunan değer, tablo 8.2'de "Counter Reading2" hanesine kaydedilir.
9. Sonraki adım açılış zamanından 60 dakika sonra gerçekleştirilir.
10. Okunan değer, tablo 8.2'de "Counter Reading3" hanesine kaydedilir.
11. 5 Dakikalık ısınma hatası için aşağıdaki ifade hesaplanır.

$$5 \text{ Dakikalık ısınma hatası} = (\text{Reading 1} - \text{Reading 3}) / (10.0 * 10^6)$$

12. Sonuç test sonuçları çizelgesinde TR Entry1 alanına kaydedilir.

13. 30 Dakikalık ısınma hatası için aşağıdaki ifade hesaplanır.

$$30 \text{ Dakikalık ısınma hatası} = (\text{Reading 2} - \text{Reading 3}) / (10,0 * 10^6)$$

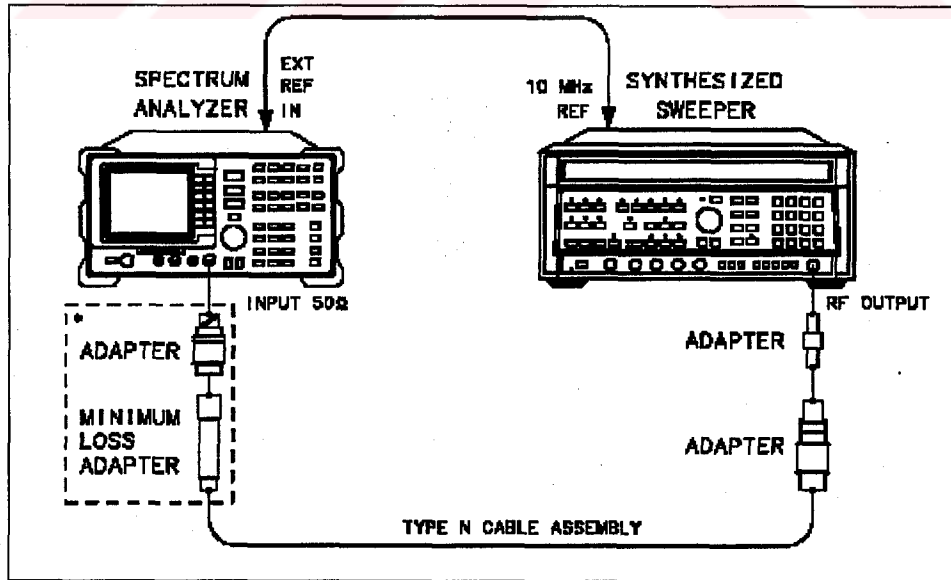
14. Sonuç test sonuçları çizelgesinde TR Entry2 alanına kaydedilir.

8.3. Frekans Okuma ve Marker Doğruluğu

Spektrum analizörün frekans okuma doğruluğu, cihaz girişine uygulanan ve doğruluğu bilinen giriş işareti ile test edilir. Frekans standardından alınan referans osilatör işareti ile tüm cihazlar senkron olarak çalıştırılır.

Bu test iki bölümden oluşmaktadır.

- Frekans okuma doğruluğu
- Marker okuma doğruluğu



Şekil 8.3. Frekans Okuma ve Marker Doğruluğu

8.3.1. Frekans Okuma Doğruluğu

1. Analizör ve kalibratörler Şekil 8.1’de görüldüğü şekilde hazırlanır.
2. İşaret kaynağında PRESET tuşuna basılır. Daha sonra kaynağı aşağıdaki ayarlara getirilir.

CW 1.5 GHz

POWER LEVEL -10 dBm

Spektrum analizörün PRESET tuşuna basılır. Cihaz başa döndüğünde analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

FREQUENCY, 1.5, GHz

SPAN, 20, MHz

3. Analizörün PEAK SEARCH düğmesine basılarak frekans okuma doğruluğu ölçülür.
4. Sonuç test sonuçları tablosunda uygun yere kaydedilir.
5. Analizörün SPAN değeri 10MHz ve 1MHz’e ayarlanarak 3. ve 4. adımı tekrarlanır.

Tablo 8.2. Frekans okuma doğruluğu

Spectrum Analyzer	MKR Reading		
	Min. (MHz)	TR Entry Actual	Max. (MHz)
20	1.49918	(1)_____	1.50082
10	1.49968	(2)_____	1.50032
1	1.499968	(3)_____	1.500032

8.3.1.1. Frekans okuma doğruluğu (opsiyonel adım, option130)

6. Spektrum analizörü aşağıdaki ayarlamalarla uygun konuma getirilir.

BW, RES BW AUTO MAN, 300, Hz

SPAN, 20, kHz

7. Analizörün PEAK SEARCH tuşuna basılır.
8. Sonuç test sonuçları çizelgesinde TR Entry 4 alanına kaydedilir.

8.3.2. Marker okuma doğruluğu

1. Spektrum analizörün PRESET tuşuna basılır. Cihaz başa döndüğünde analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

FREQUENCY, 1.5, GHz

SPAN, 20, MHz

BW, RES BW AUTO MAN, 300, kHz

MKR FCTN, MK COUNT ON OFF (ON)

More 1 of 2

CNT RES AUTO MAN, 100, Hz

2. PEAK SEARCH tuşuna basılır ve bir süre beklenir.
3. CNTR tarafından okunan frekans değeri test sonuçları çizelgesinde TR Entry 5 alanına kaydedilir.
4. Analizör ayarları aşağıdaki şekilde değiştirilir.

SPAN, 1, MHz

MKR FCTN, MK COUNT ON OFF (ON)

More 1 of 2

CNT RES AUTO MAN, 10, Hz

5. PEAK SEARCH tuşuna basılır ve bir süre beklenir.
6. CNTR tarafından okunan frekans değeri test sonuçları çizelgesinde TR Entry 6 alanına kaydedilir.

8.3.2.1. Marker okuma doğruluğu (opsiyonel adım, option130)

7. Spektrum analizörü aşağıdaki ayarlamalarla uygun konuma getirilir.

BW, RES BW AUTO MAN, 300, Hz

SPAN, 20, kHz

8. PEAK SEARCH tuşuna basılır.

9. MKR tarafından okunan frekans değeri sonuçları çizelgesinde TR Entry 7 alanına kaydedilir.

10. Spektrum analizörü aşağıdaki ayarlamalarla uygun konuma getirilir.

BW, RES BW AUTO MAN, 30, Hz

SPAN, 2, kHz

11. PEAK SEARCH, MKR FCTN, MKR Track On Off (ON) tuşlarına basılır ve bir süre beklenir.

12. MKR tarafından okunan frekans değeri sonuçlar çizelgesinde TR Entry 8 alanına kaydedilir.

8.4. Yan Bantların Gürültüsü

Spektrum analizör girişine 500MHz'lik sinüzoidal işaret uygulanır. Marker fonksiyonu taşıyıcı genliğini ve taşıyıcıdan 10,20,30 kHz uzaklıktaki gürültü seviyelerini ölçmek için kullanılır. Bu iki ölçümler arası fark değeri 1Hz'e göre normalize edilerek cihazın karakteristik verileri ile karşılaştırılır.

8.4.1. 10kHz'deki Yan bant gürültüsü

1. İşaret üretici aşağıda belirtilen şekilde ayarlanır.

FREQUENCY 500 MHz

OUTPUT LEVEL 0 dBm

AM OFF

FM OFF

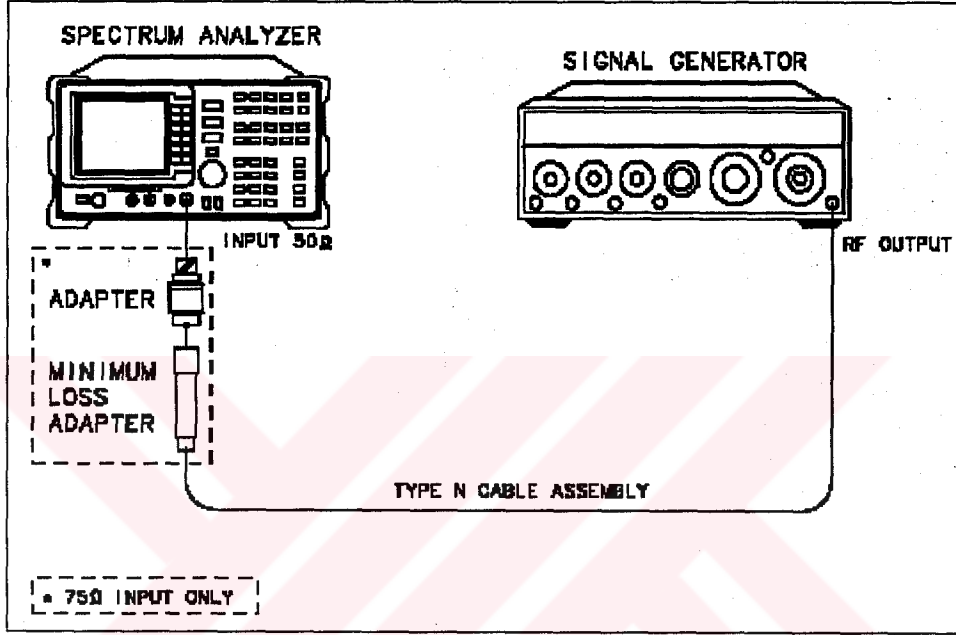
COUNTER INT

RF ON

2. Analizör ve kalibratörleri Şekil 8.4'de görüldüğü şekilde hazırlanır.
3. Spektrum analizörün PRESET tuşuna basılır. Cihaz başa döndüğünde analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

FREQUENCY, 500, MHz

SPAN, 10, MHz



Şekil 8.4. 10kHz'deki Yan bant gürültüsü

4. Taşıyıcı genliğini ölçmek için analizörü aşağıda belirtilen konuma göre ayarlanır.

PEAK SEARCH

MKR FCTN, MK TRACK ON OFF (ON)

SPAN, 200, kHz

BW, 1, kHz

VID BW AUTO MAN, 30, Hz

MKR FCTN, MK TRACK ON OFF (OFF)

SGL SWP

5. Tarama işleminin bitmesi beklenir ve PEAK SEARCH tuşuna basılır.
6. Okunan MKR genlik değeri Tablo 8.3'deki "Carrier Amplitude" taşıyıcı genliği bölümüne yazılır.

7. +10 kHz'deki yan bant gürültüsü için analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

MARKER Δ, 10, kHz

MKR, MARKER NORMAL

8. Okunan MKR genlik değeri Tablo 8.3'deki "Noise Sideband Level at +10kHz" alanına yazılır.

9. -+10 kHz'deki yan bant gürültüsü için analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

PEAK SEARCH

MARKER Δ, -10, kHz

MKR, MARKER NORMAL

10. Okunan MKR genlik değeri Tablo 8.3'deki "Noise Sideband Level at -10kHz" alanına yazılır.

11. Alınan sonuçlardan daha pozitif değere sahip olanı "Maximum Noise Sideband Level at ±10kHz" alanına kaydedilir.

12. Maksimum yanbant gürültü seviyesinden taşıyıcı genlik değeri çıkartılarak yanbant gürültü bastırılması değeri hesaplanır.

NSS = Maximum NSL – Carrier AMP

13. Sonuç test sonuçları çizelgesinde ilgili alana kaydedilir.

7. ile 13. arasındaki ölçüm adımları 20kHz ve 30kHz yan bant değerleri için tekrarlanır.

Çözünürlük bant genişliğini 1Hz'e göre normalize etmek için aşağıdaki formül uygulanır.

$$1 \text{ Hz Gürültü gücü} = (\text{Gürültü gücü, dBc olarak}) - (10 * \log[\text{RBW}])$$

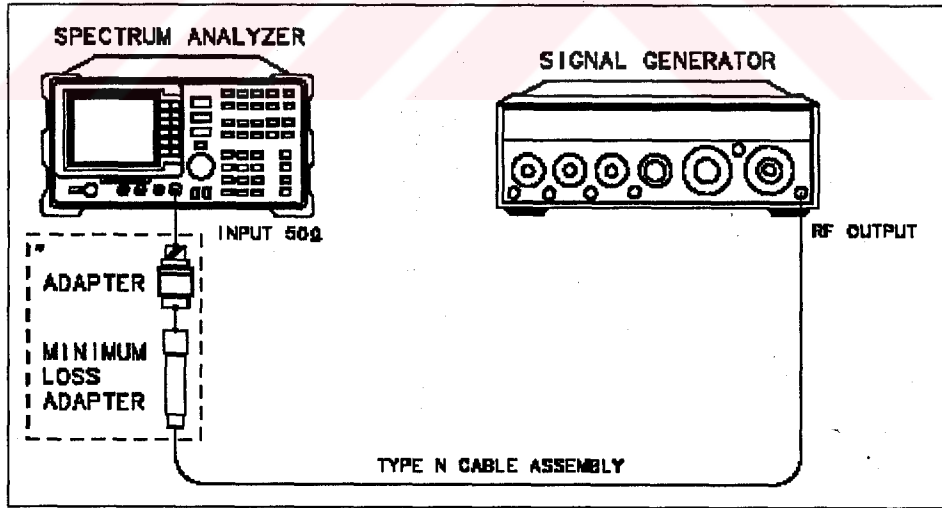
8.5 Sistem ve Yan Bant fark değerleri (System Related Sidebands)

Spektrum analizör girişine 500MHz'lik sinüzoidal işaret uygulanır. Marker fonksiyonu taşıyıcı genliğini ve sistemin 30kHz uzaklıktaki fark değerlerini ölçmek için kullanılır.

1. İşaret üretici aşağıda belirtilen şekilde ayarlanır.

FREQUENCY 500 MHz
OUTPUT LEVEL 0 dBm
AM OFF
FM OFF
COUNTER INT
RF ON

2. Analizör ve kalibratörler Şekil 8.5'de görüldüğü şekilde hazırlanır.



Şekil 8.5. Sistem ve Yan Bant fark değerleri (* 75Ω için)

3. Spektrum analizörün PRESET tuşuna basılır. Cihaz başa döndüğünde analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

FREQUENCY, 500, MHz

SPAN, 10, MHz

4. Ölçümler için analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

PEAK SEARCH

MKR FCTN, MK TRACK ON OFF (ON)

SPAN, 200, kHz

BW, 1, kHz

VID BW AUTO MAN, 30, Hz

5. Analizörün stabil hale gelmesi için yaklaşık 1dakika beklenir. Ardından analizör aşağıda belirtilen ayarlara getirilir.

MKR FCTN, MK TRACK ON OFF (OFF)

FREQUENCY, CF STEP AUTO MAN, 130, kHz

6. SGL SWP tuşuna basılır ve taramanın bitmesi beklenir. Ardından PEAK SEARCH ve MARKERΔ tuşlarına basılır.
7. Analizörde FREQUENCY ↑ tuşuna basılır.
8. SGL SWP tuşuna basılır ve taramanın bitmesi beklenir. Ardından PEAK SEARCH tuşuna basılarak yan bant ile sistem arası fark değeri ölçülür.
9. Ölçülen MARKERΔ genlik değeri, test sonuçları çizelgesinde TR Entry 1 alanına kaydedilir.
10. Analizörde ↓ tuşuna iki kez basılır.
11. SGL SWP tuşuna basılır ve taramanın bitmesi beklenir. Ardından PEAK SEARCH tuşuna basılarak yan bant ile sistem arası fark değeri ölçülür.
12. Ölçülen MARKERΔ genlik değeri, test sonuçları çizelgesinde TR Entry 2 alanına kaydedilir.

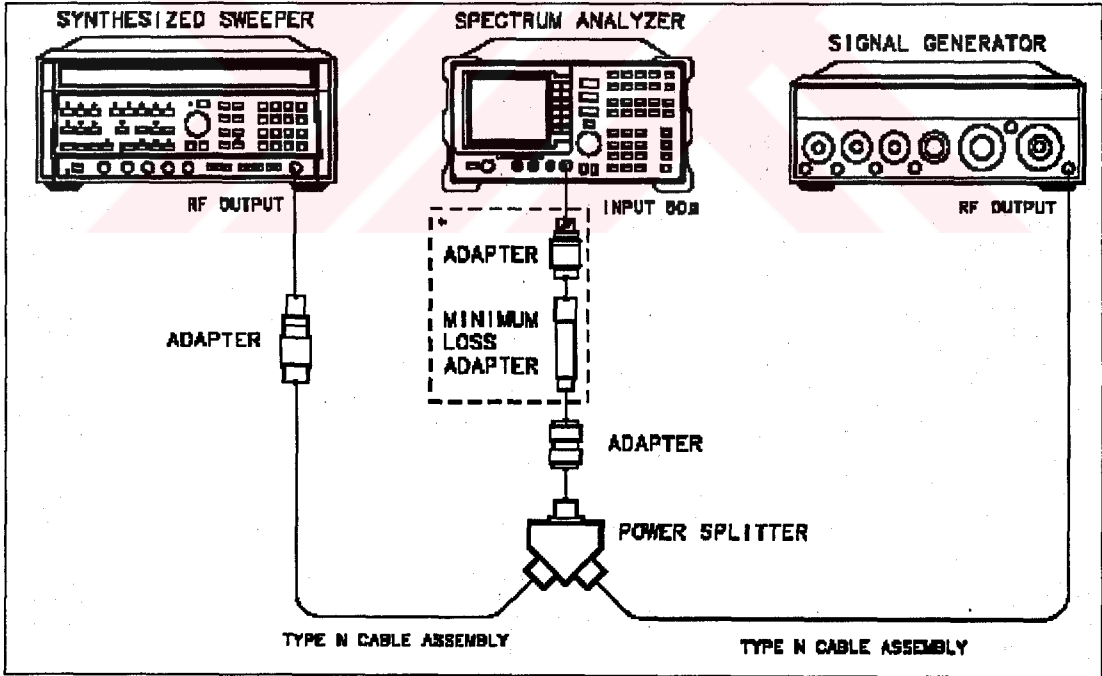
8.6. Frekans Aralığı Ölçüm Doğruluğu

Herbir frekans aralığını test etmek için, iki işaret kaynağı kullanılır. Spektrum analizörün marker fonksiyonu bu iki işaret arası fark değerini ölçmek için kullanılır.

8.6.1 1800MHz Frekans aralığı okuma doğruluğu

1. Analizör ve kalibratörler Şekil 8.6'da görüldüğü şekilde hazırlanır.
2. Spektrum analizörün PRESET tuşuna basılır.
3. Birinci işaret kaynağında PRESET tuşuna basılır. Daha sonra kaynağı aşağıdaki ayarlara getirilir.

CW 1700 MHz
POWER LEVEL -5 dBm



Şekil 8.6. 1800MHz Frekans aralığı okuma doğruluğu (* 75Ω için)

4. İkinci işaret kaynağı aşağıdaki değerlere ayarlanır.

FREQUENCY (LOCKED MODE) 200 MHz
CW OUTPUT 0 dBm

5. Düşük değerli frekans bileşeni ekranın düşey modunda soldan birinci kareye getirmek için gerekirse, analizörün merkez frekansı ayarlanır.
6. Spektrum analizörde SGL SWP tuşuna basılır ve taramanın bitmesi beklenir. Ardından aşağıdaki analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

PEAK SEARCH, MARKER Δ, NEXT PEAK

7. MARKERΔ tuşuna basılır, ardından NEXT PK RIGHT tuşuna marker sağdaki 1700MHz değerine ulaşana kadar basılır.
8. Ölçülen MARKERΔ değerini test sonuçları çizelgesinde TR Entry 1 alanına kaydedilir. (Değer yaklaşık 1446MHz ile 1554MHz aralığında olmalıdır.)

8.6.2. 10.1MHz'den 10kHz'e Frekans aralığı okuma doğruluğu

1. Analizör ve kalibratörler Şekil 8.6'da görüldüğü şekilde hazırlanır. Güç bölücü burada birleştirici olarak kullanılmaktadır.
2. Spektrum analizörün PRESET tuşuna basılır. Cihaz başa döndüğünde analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

FREQUENCY, 70, MHz

SPAN 10.1 MHz

3. Birinci işaret kaynağında PRESET tuşuna basılır. Daha sonra kaynak aşağıdaki ayarlara getirilir.

CW 74 MHz

POWER LEVEL -5 dBm

4. İkinci işaret kaynağı aşağıdaki değerlere ayarlanır.

FREQUENCY 66 MHz

AMPLITUDE 0 dBm

5. Spektrum analizörün merkez frekansını iki şireti de ekranda göreceğ şekilde ayarlanır.
6. Spektrum analizörde SGL SWP tuşuna basılır ve taramanın bitmesi beklenir. Ardından aşağıdaki analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

PEAK SEARCH, MARKER Δ, NEXT PEAK

7. Ölçülen MARKER Δ değeri test sonuçları çizelgesinde TR Entry 2 alanına kaydedilir.
8. Analizörde MKR, More 1 of 2, ardından MARKER ALL OFF tuşlarına basılır.
9. Cihazların ayarlarını Tablo 8.3'den bir sonraki ölçüm için gerekli değerlere ayarlayınır.
10. Analizörün SGL SWP tuşuna basılır ve taramanın bitmesi beklenir. Ardından aşağıdaki analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

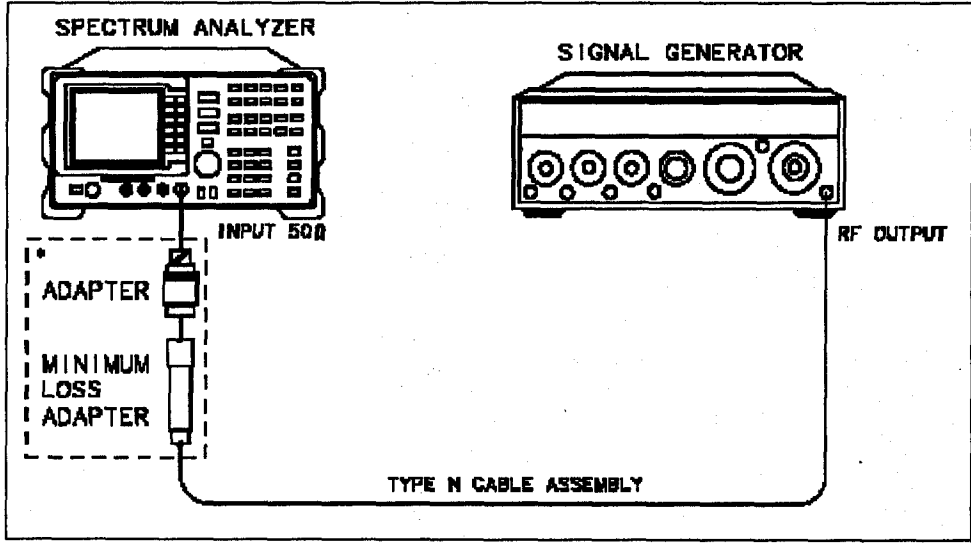
PEAK SEARCH, MARKER Δ , NEXT PEAK

11. Ölçülen MARKER Δ değeri test sonuçları çizelgesine kaydedilir.
12. 8. ile 11. adımlar arasını Tablo 8.3'de listelenen diğer frekans aralıkları için uygulanır.

8.7. Artık FM (Residual FM)

Bu test spektrum analizör lokal osilatörünün sisteminin doğal kısa-dönem stabilitesini ölçmekte kullanılır. Analizörün sıfır-frekans aralığı ile stabil bir işaret, girişine uygulanır ve işaretin eğimi IF bant genişliği filtresinin eteği tarafından algılanır. Bu test IF filtresinin eğimini Hz/dB olarak hesaplar ve ardından artık FM'in neden olduğu işaret genlik değeri değişimini ölçer.

1. Analizör ve kalibratörler Şekil 8.7'de görüldüğü şekilde hazırlanır.



Şekil 8.7 Artık FM (Residual FM) (* 75Ω için)

2. İşaret üretici aşağıda belirtilen şekilde ayarlanır.

FREQUENCY 500 MHz
 CW OUTPUT -10 dBm

3. Spektrum analizörün PRESET tuşuna basılır. Cihaz başa döndüğünde analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

FREQUENCY, 500, MHz
 SPAN, 1, MHz

AMPLITUDE, -9, dBm

SCALE LOG LIN (LOG), 1, dB

BW, 1, kHz

PEAK SEARCH

MKR FCTN, MK TRACK ON OFF (ON)

SPAN, 10, kHz

AUTO ZOOM Mesajı kayboluncaya kadar beklenir. Ardından spektrum analizörü aşağıdaki değerlere ayarlanır.

MKR →, MARKER →REF LVL

MKR, MARKER 1 ON OFF (OFF)

SGL SWP

PEAK SEARCH, MARKER Δ

Eğer $\pm 0,1$ dB ayarlarına ulaşıldı ise,ardından analizör aşağıdaki şekilde ayarlanır.

SPAN, 5, kHz

BW, VID BW AUTO MAN, 30, Hz

spektrum analizörün çevirmeli ayarını saat yönünün tersine doğru MKR-Δ genliği $-1\text{dB}\pm 0,1\text{dB}$ değerine gelinceye kadar çevirilir. Ardından MARKERΔ tuşuna basılır. Çevirmeli ayarlama konumunu MKR-Δ genliği $-4\text{dB}\pm 0,1\text{dB}$ değerine gelinceye kadar çevirilir.

4. MKR-Δ frekansı Hz olarak, MKR-Δ genliğine bölünür. Sonuç kaydedilir. Slope.....Hz/dB

Spektrum analizörde, MKR, More 1 off 2, MARKER ALL OFF, PEAK SEARCH tuşlarına sırasıyla basılır,ardından MARKERΔ tuşuna basılır. Çevirmeli ayarlama konumunu MKR-Δ genliği $-3\text{dB}\pm 0,1\text{dB}$ değerine gelinceye kadar çevirilir.

5. Analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

MKR, MARKER NORMAL

MKR →, MARKER →CF

SGL SWP

BW, VID BW AUTO MAN, 1, kHz

SPAN,0, Hz

SWEEP, 100, ms

SGL SWP

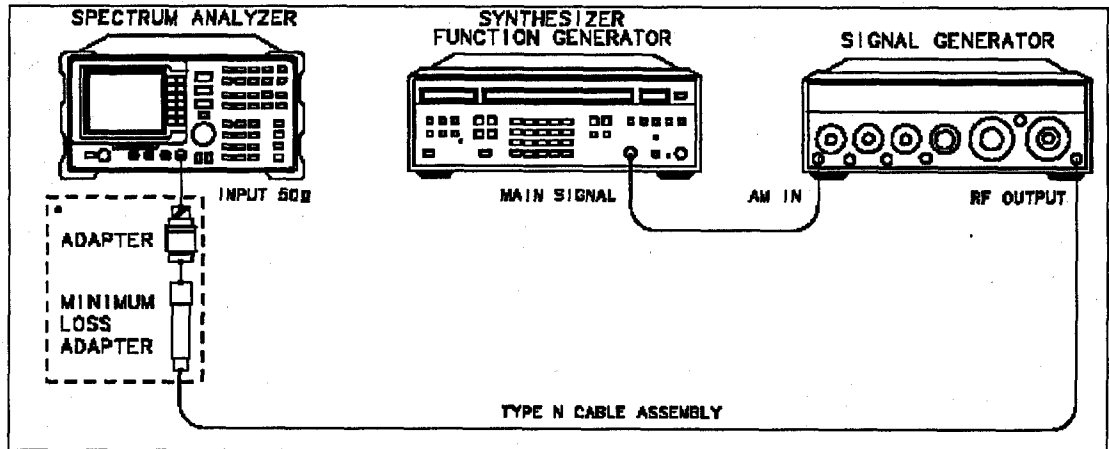
- Ölçülen işaret izi, referans seviyenin 3 birim kare altında olmalıdır. Eğer değil ise, TRIG, SWEEP CONT SGL, FREQUENCY tuşlarına basılır ve referans seviyenin 3 birim kare altına gelene kadar işareti çevirmeli ayarlama konumu ile ayarlanır.
- Spektrum analizörde MKR→, MORE 1 of 2, MARKER→PK-PK tuşlarına basılır. MKR-Δ değeri okunur, mutlak değeri alınır ve sapma miktarı olarak kaydedilir.

DeviationdB

8.8. Süpürme Zamanı Doğruluğu

Bu testte spektrum analizör, AM modüleli bir işareti, sıfır frekans ölçüm aralığında demodüle eder ve işaretin yanıtı zaman domeninde gösterir. Analizördeki MKRA fonksiyonu süpürme zamanı doğruluğunu ölçmek için kullanılır.

- İşaret üretici 500MHz, -10dBm'e ayarlanır. AM ve FM kontrolleri kapatılır.
- Fonksiyon üretcinin çıkışı 500Hz, +5dBm üçgen dalga işaretine ayarlanır.
- Cihazlar Şekil 8.8'de görüldüğü gibi bağlanır.



Şekil 8.8. Süpürme zamanı doğruluğu (* 75Ω için)

4. Spektrum analizörün PRESET tuşuna basılır. Cihaz başa döndüğünde analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

FREQUENCY, 500, MHz

SPAN, 10, MHz

PEAK SEARCH

MKR, FCTN MK TRACK ON OFF (ON)

SPAN, 50, kHz

5. AUTO ZOOM Mesajı kayboluncaya kadar beklenir. Ardından spektrum analizörü aşağıdaki değerlere ayarlanır.

SPAN

ZERO SPAN

BW, 3, MHz

SWEEP, 20, ms

AMPLITUDE, SCALE LOG LIN (LIN)

6. İşaretin genliği ekranın ortasında görülecek şekilde ayarlanır.
7. İşaret üreticinin AM modu AC konuma alınır.
8. Analizörde TRIG ve VIDEO tuşlarına basılır. Video tetikleyicisi ayarlanır, böylece analizör taramaya başlar.
9. SGL SWP tuşuna basılır. Ardından PEAK SEARCH' e basılır. En soldaki işaret seçili olmalıdır.
10. MARKER DELTA tuşuna basılır, NEXT PK RIGHT tuşuna 8 defa basılır. Marker Δ değeri Tablo 8.3'e kaydedilir.
11. 9. ila 11. adımlar Tablo 8.3'deki diğer ayarlama değerleri için tekrarlanır.

Tablo 8.3. Süpürme Zamanı Doğruluğu

Spectrum Analyzer Sweep Time Setting	Synthesizer/Function Generator Frequency	Minimum Reading	TR Entry MKR Δ	Maximum Reading
20 ms	500.0 Hz	15.4 ms	(1) _____	16.6 ms
100 ms	100.0 Hz	77.0 ms	(2) _____	83.0 ms
1 s	10.0 Hz	770.0 ms	(3) _____	830.0 ms
10 s	1.0 Hz	7.7 s	(4) _____	8.3 s

8.9. Ölçekleme Uygunluğu

50MHz'lik sürekli işaret analizör girişine iki ayarlı zayıflatıcı üzerinden geçerek uygulanır. Zayıflatıcılar kaynağın efektif genliğini arttırlar. Kaynağın dahili zayıflatıcısı referans standart olarak kullanılır. Test lineer ve logaritmik ölçeklerde uygulanır.

8.9.1. Logaritmik skala

1. İşaret üretici aşağıda belirtilen şekilde ayarlanır.

FREQUENCY 50 MHz

AMPLITUDE+10 dBm

AMPTD INCR0.05 dB

OUTPUT 50 Ω

2. Cihazlar Şekil 8.8'de görüldüğü gibi bağlanır. 10dB zayıflatıcı 10dB'ye 1dB zayıflatıcıyıda 0dB'ye ayarlanır.

3. Spektrum analizörün PRESET tuşuna basılır. Cihaz başa döndüğünde analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

FREQUENCY, 50, MHz

SPAN, 10, MHz

PEAK SEARCH

MKR FCTN, MK TRACK ON OFF (ON)

SPAN, 50, kHz

AUTO ZOOM Mesajı kayboluncaya kadar bekleyiniz. Ardından spektrum analizörü aşağıdaki değerlere ayarlanır.

BW

RES BW AUTO MAN, 3, kHz

VID BW AUTO MAN, 30, Hz

4. MKR genliğinin 0 dBm ile -1 dBm arasında olması için, gerekirse 1dB'lik zayıflatıcı ayarlanır.
5. İşaret üretici, analizörde MKR genliği $0 \text{ dBm} \pm 0,05 \text{ dB}$ gösterecek şekilde ayarlanır.
6. Spektrum analizörde PEAK SEARCH ve MARKERΔ tuşlarına basılır.
7. İşaret üretici AMPTD INCR değerini 4dB'ye ayarlanır.
8. İşaret üreticinin genlik modunda Tablo 8.4'deki bir sonraki genlik değerine inilir.
9. Gerçek MKRΔ değeri Tablo 8.4'deki ölçüm alanına kaydedilir.
10. Adım 8. ve 9.'u Tablo 8.4'deki diğer değerler için tekrarlanır.
11. Tablo 8.4'deki her bir MKRΔ değeri bir üstündeki MKRΔ değerinden çıkartılır. Fark değeri 0,4 dB'yi geçmemelidir.

8.9.2. Lineer skala

1. İşaret üretici aşağıda belirtilen şekilde ayarlanır.

AMPLITUDE+10 dBm

AMPTD INCR0.05 dB

2. 1dB adımlı zayıflatıcı 0dB değerine ayarlanır.

3. Spektrum analizörün PRESET tuşuna basılır. Cihaz başa döndüğünde analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

AMPLITUDE, SCALE LOG LIN (LIN)

FREQUENCY, 50, MHz

SPAN, 10, MHz

PEAK SEARCH

MKR FCTN, MK TRACK ON OFF (ON)

SPAN, 50, kHz

AUTO ZOOM Mesajı kayboluncaya kadar beklenir. Ardından spektrum analizörü aşağıdaki değerlere ayarlanır.

BW

RES BW AUTO MAN, 3, kHz

VID BW AUTO MAN, 30, Hz

4. Gerekli olursa MKR değeri 223,6mV oluncaya kadar zayıflatıcı ayarları değiştirilir.
5. Spektrum analizörde PEAK SEARCH, MKR FCTN, MK TRACK ON OFF (ON) tuşlarına basılır.
6. İşaret üretici AMPTD INCR değerini 3dB'ye ayarlanır.
7. İşaret üreticinin genlik modunda Tablo 8.5'deki bir sonraki genlik değerine inilir
8. Gerçek MKRΔ değeri Tablo 8.5'deki ölçüm alanına kaydedilir.
9. Adım 7. ve 8.'i Tablo 8.5'deki diğer değerler için tekrarlanır.

8.9.3. Logaritmik skaladan lineer skalaya geçiş

1. 10dB zayıflatıcı 10dB'ye 1dB zayıflatıcıyı da 0dB'ye ayarlanır.
2. İşaret üretici aşağıda belirtilen şekilde ayarlanır.

FREQUENCY 50 MHz

AMPLITUDE+6 dBm

3. Spektrum analizörün PRESET tuşuna basılır. Cihaz başa döndüğünde analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

FREQUENCY, 50, MHz

SPAN, 10, MHz

BW, 300, kHz

PEAK SEARCH

MKR →, MARKER →REF LVL

PEAK SEARCH

4. Logaritmik moddaki marker tepe değeri kaydedilir.

Log Mode Amplitude Reading _____dBm

5. AMPLITUDE, SCALE LOG LIN (LIN) atuşlarına basarak lineer moda geçilir. Genlik birimi dBm konumuna getirilir.

6. PEAK SEARCH tuşuna basılır ve marker tepe değeri lineer moda ölçülür.

Linear Mode Amplitude Reading _____dBm

7. Logaritmik moddaki değerden lineer mod değeri çıkartılır.Sonuç kaydedilir.

Log/Linear Error _____dB

Tablo 8.4. Logaritmik mod ölçekleme uygunluğu

Synthesizer/ Level Generator Nominal Amplitude	dB from Ref Level (nominal)	TR Entry Cumulative Error (MKR Δ Reading)			TR Entry Incremental Error
		Min. (dB)	Actual (dB)	Max. (dB)	
+10 dBm	0	0 (Ref)	0 (Ref)	0 (Ref)	0 (Ref)
+6 dBm	-4	-4.34	(1)_____	-3.66	(18)_____
+2 dBm	-8	-8.38	(2)_____	-7.62	(19)_____
-2 dBm	-12	-12.42	(3)_____	-11.58	(20)_____
-6 dBm	-16	-16.46	(4)_____	-15.54	(21)_____
-10 dBm	-20	-20.50	(5)_____	-19.50	(22)_____
-14 dBm	-24	-24.54	(6)_____	-23.46	(23)_____
-18 dBm	-28	-28.58	(7)_____	-27.42	(24)_____
-22 dBm	-32	-32.62	(8)_____	-31.38	(25)_____
-26 dBm	-36	-36.66	(9)_____	-35.34	(26)_____
-30 dBm	-40	-40.70	(10)_____	-39.30	(27)_____
-34 dBm	-44	-44.74	(11)_____	-43.26	(28)_____
-38 dBm	-48	-48.78	(12)_____	-47.22	(29)_____
-42 dBm	-52	-52.82	(13)_____	-51.18	(30)_____
-46 dBm	-56	-56.86	(14)_____	-55.14	(31)_____
-50 dBm	-60	-60.90	(15)_____	-59.10	(32)_____
-54 dBm	-64	-64.94	(16)_____	-63.06	N/A
-58 dBm	-68	-68.98	(17)_____	-67.02	N/A

Tablo 8.4. Lineer mod ölçekleme uygunluğu

Synthesizer/Level Generator Nominal Amplitude	% of Ref Level (nominal)	MKR Reading		
		Min. (mV)	TR Entry	Max. (mV)
+10 dBm	100	0 (Ref)	0 (Ref)	0 (Ref)
+7 dBm	70.7	151.59	(65)_____	165.01
+4 dBm	50	105.36	(66)_____	118.78
+1 dBm	35.48	72.63	(67)_____	86.05
-2 dBm	25	49.46	(68)_____	62.88

8.10 Referans Seviye Doğruluğu

8.10.1. Logaritmik skala

1. İşaret üretici aşağıda belirtilen şekilde ayarlanır.

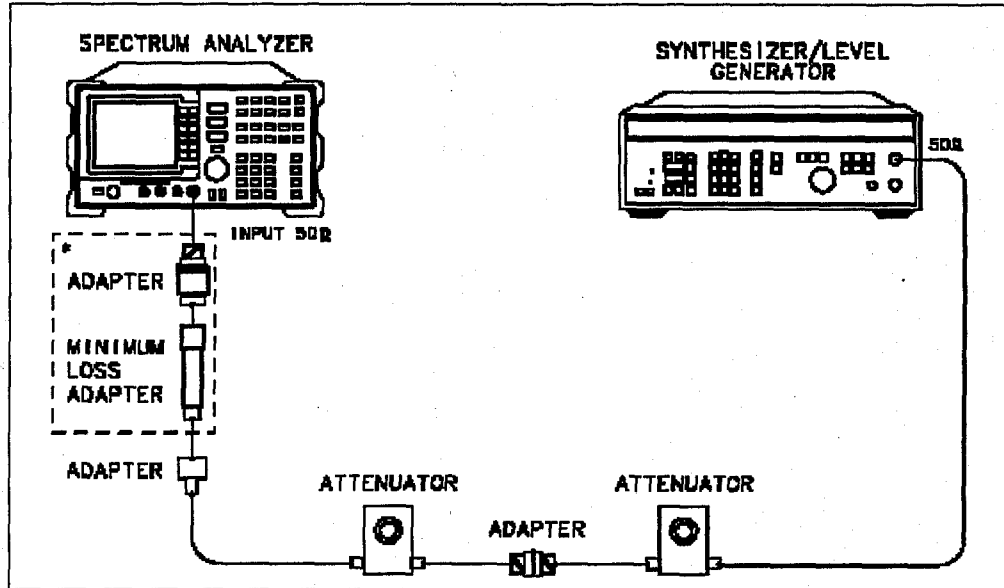
FREQUENCY 50 MHz

AMPLITUDE -10 dBm

AMPTD INCR 10 dB

OUTPUT 50 Ω

2. Cihazlar Şekil 8.9'da görüldüğü gibi bağlanır. 10dB zayıflatıcıyı 10dB'ye 1dB zayıflatıcıda 0dB'ye ayarlanır.



Şekil 8.9 Logaritmik skala (* 75 Ω için)

3. Spektrum analizörün PRESET tuşuna basılır. Cihaz başa döndüğünde analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

FREQUENCY, 50, MHz
SPAN, 10, MHz
PEAK SEARCH
MKR, FCTN MK TRACK ON OFF (ON)
SPAN, 50, kHz

AMPLITUDE, -20, dBm, SCALE LOG LIN (LOG), 1, dB
BW, 3, kHz, VID BW AUTO MAN, 30, Hz

4. 1dB adımlı zayıflatıcı işaretin tepe değeri referans seviyeden 1 veya 2 birim kare aşağıda olacak şekilde ayarlanır.
5. Analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

SGL SWP
PEAK SEARCH, MARKER Δ

6. İşaret üreticinin genliği ve analizörün referans seviyesi Tablo 8.5'deki değerlere göre ayarlanır. Her ayarlama sonra SGL SWP tuşuna basılır.
7. Ölçülen MKRΔ değerleri tabloya kaydedilir.

8.10.2. Lineer skala

1. İşaret üreticinin zayıflatıcı değeri -10dBm'e ayarlanır.
2. 1dB adımlı zayıflatıcı 0dB 'e ayarlanır.
3. Analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

AMPLITUDE, -20, dBm
SCALE LOG LIN (LIN)
AMPLITUDE, More 1 of 2, Amptd Units, dBm
SWEEP, SWEEP CONT SGL (CONT)
MKR, More 1 of 2, MARKER ALL OFF

4. 1dB adımlı zayıflatıcı işaretin tepe değeri referans seviyeden 1 veya 2 birim kare aşağıda olacak şekilde ayarlanır.
5. Analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

SGL SWP

PEAK SEARCH, MARKER Δ

MKR FCTN, MK TRACK ON OFF (OFF)

6. İşaret üreticinin genliği ve analizörün referans seviyesi Tablo 8.6'deki değerlere göre ayarlanır. Her ayarlama sonrası SGL SWP tuşuna basılır.
7. Ölçülen MKRΔ değerleri tabloya kaydedilir.

Tablo 8.5 Referans seviye doğruluğu (logaritmik)

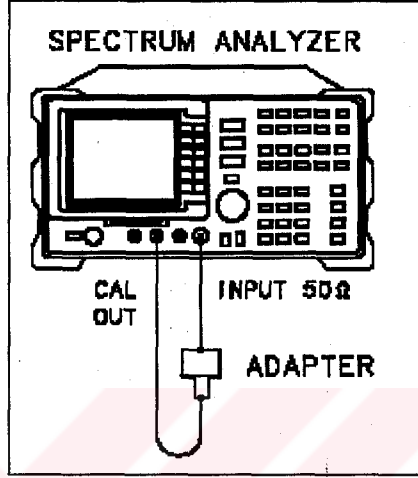
Synthesizer/Level Generator Amplitude	Spectrum Analyzer Reference Level	MKR Δ Reading (dB)		
		Min.	TR Entry	Max.
(dBm)	(dBm)			
-10	-20	0 (Ref)	0 (Ref)	0 (Ref)
0	-10	-0.4	(1) _____	+0.4
+10	0	-0.5	(2) _____	+0.5
-20	-30	-0.4	(3) _____	+0.4
-30	-40	-0.5	(4) _____	+0.5
-40	-50	-0.8	(5) _____	+0.8
-50	-60	-1.0	(6) _____	+1.0
-60	-70	-1.1	(7) _____	+1.1
-70	-80	-1.2	(8) _____	+1.2
-80	-90	-1.3	(9) _____	+1.3

Tablo 8.6 Referans seviye doğruluğu (lineer)

Synthesizer/Level Generator Amplitude	Spectrum Analyzer Reference Level	MKR Δ Reading (dB)		
		Min.	TR Entry	Max.
(dBm)	(dBm)			
-10	-20	0 (Ref)	0 (Ref)	0 (Ref)
0	-10	-0.4	(10)_____	+0.4
+10	0	-0.5	(11)_____	+0.5
-20	-30	-0.4	(12)_____	+0.4
-30	-40	-0.5	(13)_____	+0.5
-40	-50	-0.8	(14)_____	+0.8
-50	-60	-1.0	(15)_____	+1.0
-60	-70	-1.1	(16)_____	+1.1
-70	-80	-1.2	(17)_____	+1.2
-80	-90	-1.3	(18)_____	+1.3

8.11. Mutlak Genlik Kalibrasyonu ve Çözünürlük Bant Genişliği Değişimi Belirsizliği

8.11.1 Mutlak genlik belirsizliği



Şekil 8.10 Mutlak genlik belirsizliği

1. Şekil 8.10'daki bağlantı gerçekleştirilir.
2. Spektrum analizörün PRESET tuşuna basılır. Cihaz başa döndüğünde analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

FREQUENCY, 300, MHz

SPAN, 10, MHz

PEAK SEARCH

MKR, FCTN MK TRACK ON OFF (ON)

SPAN, 50, kHz

BW, 3, kHz

VID BW AUTO MAN, 300, Hz

AMPLITUDE, SCALE LOG LIN (LIN)

More 1 of 3, Amptd Units, then dBm

AMPLITUDE, -20, dBm

3. PEAK SEARCH tuşuna basılır. Marker değeri test sonuçları çizelgesinde TR Entry1 alanına kaydedilir. Ölçülen değer (-20,15;-19,85) aralığında olmalıdır.

8.11.2. Çözünürlük bant genişliği belirsizliği

4. Spektrum analizörün PRESET tuşuna basılır. Cihaz başa döndüğünde analizör aşağıdaki değerlere ayarlanır.

FREQUENCY, 300, MHz

SPAN, 10, MHz

PEAK SEARCH

MKR FCTN, MK TRACK ON OFF (ON)

SPAN, 50, kHz

AMPLITUDE, -20, dBm

SCALE LOG LIN (LOG), 1, dB

BW, 3, kHz

VID BW AUTO MAN, 1, kHz

5. AMPLITUDE tuşuna basarak analizörde genlik moduna gelin. Genliği referans seviyenin bir birim kare altında olacak şekilde ayarlayın. Ardından aşağıda belirtilen ayarlamaları yapın.

PEAK SEARCH, MARKER Δ

MKR FCTN, MK TRACK ON OFF (ON)

6. Analizörün çözünürlük ve frekans aralığı değerleri Tablo XX'e belirtilen değerlere ayarlanır.
7. PEAK SEARCH tuşuna basılır. MKRΔ TRK değeri kaydedilir.
8. 6. ve 7. adımları tablodaki diğer değerler içinde gerçekleştirilir.
9. Alınan sonuçla kaydedilir.

Tablo 8.7 RBW Belirsizliği

Spectrum Analyzer		MKR Δ TRK Amplitude Reading		
RES BW Setting	SPAN Setting	Min. (dB)	TR Entry	Max. (dB)
3 kHz	50 kHz	0 (Ref)	0 (Ref)	0 (Ref)
1 kHz	50 kHz	-0.5	(2) _____	+0.5
9 kHz	50 kHz	-0.4	(3) _____	+0.4
10 kHz	50 kHz	-0.4	(4) _____	+0.4
30 kHz	500 kHz	-0.4	(5) _____	+0.4
100 kHz	500 kHz	-0.4	(6) _____	+0.4
120 kHz	500 kHz	-0.4	(7) _____	+0.4
300 kHz	5 MHz	-0.4	(8) _____	+0.4
1 MHz	10 MHz	-0.4	(9) _____	+0.4
3 MHz	10 MHz	-0.4	(10) _____	+0.4

9. SONUÇLAR

Spektrum analizörlerin kalibrasyonlarında, cihaz karakteristiğini ve doğruluğunun ortaya çıkarılabilmesi için gerçekleştirilmesi gereken temel testlerin, cihazı üreten firmanın belirttiği yöntemlerle uygulanması değerlendirmeyi kolaylaştırır. Spektrum analizörler kullanım modlarına ve yapılan ölçüm ayarlamalarına göre ürettikleri test sonucunu etkileyebilen aktif ölçüm cihazlarıdır.

Bu çalışmada örnek olarak alınan ve belirtilen kalibrasyon prosedürleri uygulanan cihaza ait ölçüm sonuçları EK-1'de verilmiştir. Bu sonuçlarda, yapılan testlerde cihazın üretici tarafından belirtilen tolerans değerleri içinde olduğu ortaya çıkmıştır. Üretici tarafından belirtilen prosedürlerin kullanılmasının sağladığı bir diğer avantaj; Testler için belirtilen doğruluk ve karakteristik değerlerdeki kalibratör ve ara elemanların kullanımı durumunda test sonuçlarının değerlendirilmesi için gerekli toleransın üretici tarafından belirtilmiş olmasıdır. Aksi takdirde her bir ölçüm için, test kurulumu ve kullanılan cihazlardan gelen ölçüm belirsizliklerinin de ayrıntılı olarak hesaplanması gerekir.

Ayrıca ölçüm cihazlarının kalibrasyonlarını gerçekleştirebilmek için, cihazın doğruluğunun minimum dört katı yüksek doğrulukta kalibratörler kullanılmalı ve bu cihazlarda bir üst sınıf standarta göre izlenebilir olmalıdırlar. Ülkemizde primer standartlar UME tarafından teşkil edilmektedirler. Endüstriyel kalibrasyon hizmeti veren tüm kurum ve kuruluşlar uluslar arası birim sistemine izlenebilir ölçümler yapabilmek için, ölçüm yaptıkları birime ait referanslar tutmak zorundadırlar.

Ülkemizde ölçüm bilim ve kalibrasyon alanında, genel bir eğitim boşluğu mevcuttur. Üniversitelerde, özellikle mühendislik eğitimi alanında öğrenim gören öğrenciler, enstümantasyon ve ölçüm bilim konularında altyapıya sahip olamaz iken, metroloji ve kalibrasyon alanlarında çalışacak insan gücünün, gerekli teknik eğitimi alabileceği adresler sınırlıdır. Primer laboratuvarlardan tarafından verilen eğitimler, endüstriyel uygulamalara yatkın değildir. Ölçüm bilim ve kalibrasyon ile ilgili uygulamaya yönelik eğitim çalışmaları ve akademik destekli araştırmalar, ülkemizde bu alanda yaşanan boşluğu gidermek için önem taşımaktadır.

Bu alışma, frekans ölçümleri alanında spektrum analizörler ile ilgili ölçüm ve kalibrasyon konularında bilgiye ulaşmak ve uygulamadaki eksikliklerini gidermek isteyen tüm çalışanlara bir destek sağlamayı amaçlamıştır.



KAYNAKLAR

- 1- RAUSCHER,C. 2001 Fundamentals of Spektrum Analysis,R&S, München.**
- 2- ENGELSON, M. and TELEWSKI, F. Spektrum Analyzer Theory and Applications, ARTECH, USA.**
- 3- FLUKE, 1994 Philosophy in Practice: Calibration, FLUKE, USA.**
- 4- AGILENT, 2001, 8590 Series Analyzers Calibration Guide, Agilent Tech, USA.**
- 5- HP, 1997, 8 Hints for making beter Spektrum Analyzer Measurement,sy:4-9, HP, USA.**
- 6- AGILENT, 2000, Spectrum Analysis Basics, sy:25-42, Agilent Technologies, USA.**
- 7- AGILENT, 1999, Optimizing Spektrum Analyzer Measurement Speed, sy:3-6, Agilent Technologies, USA.**
- 8- AGILENT, 2000, Optimizing Spektrum Analyzer Amplitude Accuracy,sy:3-15, Agilent Technologies, USA.**
- 9- URAL H.,TURGAY,D,2001,Ölçme ve kalibrasyon Eğitim notları, SİMKAL, TÜRKİYE.**
- 10- AGILENT, 1991, Back to Basics Seminar, Sl:1-20, Agilent Technologies, USA.**
- 11-ERTÜRK, S 2003 Sayısal İşaret İşleme, Birsen Yayınevi, S.119-121, İSTANBUL**

EK-1 HP 8591E SPEKTRUM ANALİZÖR KALİBRASYON VERİLERİ

Agilent Technologies				
Model 8591E		Report No. _____		
Serial No. _____		Date: _____		
Test Description	Results Measured			Measurement
	Min.	TR Entry	Max.	Uncertainty
1. 10 MHz Reference Accuracy				
Settability	Frequency (MHz)			$\pm 4.2 \times 10^{-9}$
	-150 Hz	18,0	+150 Hz	
2. 10 MHz Reference Accuracy for Option 004				
5 Minute Warmup Error	Frequency (MHz)			$\pm 2.004 \times 10^{-9}$
	-1×10^{-7}	$0,65 \times 10^{-7}$	$+1 \times 10^{-7}$	
30 Minute Warmup Error	-1×10^{-8}	$0,42 \times 10^{-7}$	$+1 \times 10^{-8}$	$\pm 2.002 \times 10^{-9}$
4. Frequency Readout Accuracy and Marker Count Accuracy				
Frequency Readout Accuracy	Frequency (GHz)			± 1 Hz
SPAN				
20 MHz	1.49918	1,49998	1.50082	
10 MHz	1.49968	1,49998	1.50032	
1 MHz	1.4999680	1,4999984	1.500032	
<i>Option 130 only:</i>				
20 kHz	1.49999924	1,49999989	1.50000076	
Marker Count Accuracy				
SPAN				
(CNT RES = 100 Hz) 20 MHz	1.4999989	1,4999992	1.5000011	
(CNT RES = 10 Hz) 1 MHz	1.49999989	1,49999948	1.50000011	

Agilent Technologies				
Model 8591E		Report No. _____		
Serial No. _____		Date _____		
Test Description	Results Measured			Measurement
	Min.	TR Entry	Max.	Uncertainty
4. Frequency Readout Accuracy and Marker Count Accuracy				
<i>Option 130 only:</i>				
(CNT RES = 10 Hz) 20 kHz	1.49999989	1,49999992	1.50000011	±1.0 Hz
(CNT RES = 10 Hz) 2 kHz	1.49999989	1,49999994	1.50000011	±1.0 Hz
6. Noise Sidebands				
Suppression at 10 kHz		-69,0	-60 dBc	±1.0 dB
Suppression at 20 kHz		-76,2	-70 dBc	±1.0 dB
Suppression at 30 kHz		-79,6	-75 dBc	±1.0 dB
7. System Related Sidebands				
Sideband Below Signal		-68,9	-65 dBc	±1.0 dB
Sideband Above Signal		-69,2	-65 dBc	±1.0 dB
8. Frequency Span Readout Accuracy				
SPAN	MKRA Reading			
1800 MHz	1446.00 MHz	1498,86	1554.00 MHz	±6.37 MHz
10.10 MHz	7.70 MHz	7,91	8.30 MHz	±35.4 kHz
10.00 MHz	7.80 MHz	7,88	8.20 MHz	±3.54 kHz
100.00 kHz	78.00 kHz	79,2	82.00 kHz	±354 Hz
99.00 kHz	78.00 kHz	79,1	82.06 kHz	±354 Hz
10.00 kHz	7.80 kHz	7,88	8.20 kHz	±3.54 Hz
<i>Option 130 only:</i>				
1.00 kHz	0.78 kHz		0.82 kHz	±354 Hz
300 Hz	N/A		N/A	N/A

Agilent Technologies				
Model 8591E		Report No. _____		
Serial No. _____		Date _____		
Test Description	Results Measured			Measurement
	Min.	TR Entry	Max.	Uncertainty
10. Residual FM				
		248,6	250 Hz	±45.8 Hz
<i>Option 130 only:</i>			30 Hz	±3.5 Hz
12. Sweep Time Accuracy				
SWEEP TIME		MKRA Reading		
20 ms	15.4 ms	15,8	16.6 ms	±0.057 ms
100 ms	77.0 ms	79,9	83.0 ms	±0.283 ms
1 s	770.0 ms	798,4	830.0 ms	±2.83 ms
10 s	7.7 s	7,9	8.3 s	±23.8 ms
13. Scale Fidelity				
Log Mode dB from Ref Level	Cumulative Error			
0	0 (Ref)	0,0	0 (Ref)	
-4	-4.34 dB	-3,92	+3.66 dB	±0.06 dB
-8	-8.38 dB	-7,98	-7.62 dB	±0.06 dB
-12	-12.42 dB	-11,96	-11.58 dB	±0.06 dB
-16	-16.46 dB	-15,89	-15.54 dB	±0.06 dB
-20	-20.50 dB	-19,84	-19.50 dB	±0.06 dB
-24	-24.54 dB	-23,87	-23.46 dB	±0.06 dB
-28	-28.58 dB	-27,86	-27.42 dB	±0.06 dB
-32	-32.62 dB	-31,84	-31.38 dB	±0.06 dB
-36	-36.66 dB	-31,91	-35.34 dB	±0.06 dB
-40	-40.70 dB	-39,92	-39.30 dB	±0.06 dB
-44	-44.74 dB	-43,86	-43.26 dB	±0.06 dB

Agilent Technologies

Model 8591E Report No. _____

Serial No. _____ Date _____

Test Description	Results Measured			Measurement
	Min.	TR Entry	Max.	Uncertainty
13. Scale Fidelity				
-48	-48.78 dB		-47.22 dB	±0.06 dB
-52	-52.82 dB		-51.18 dB	±0.06 dB
-56	-56.86 dB		-55.14 dB	±0.06 dB
-60	-60.90 dB		-59.10 dB	±0.11 dB
-64	-64.94 dB		-63.06 dB	±0.11 dB
-68	-68.98 dB		-67.02 dB	±0.11 dB
Log Mode	Incremental Error			
dB from Ref Level				
0	0 (Ref)	0,0	0 (Ref)	
-4	-0.4 dB	-3,91	+0.4 dB	±0.06 dB
-8	-0.4 dB	-7,98	+0.4 dB	±0.06 dB
-12	-0.4 dB	-12,04	+0.4 dB	±0.06 dB
-16	-0.4 dB	-16,01	+0.4 dB	±0.06 dB
-20	-0.4 dB	-19,94	+0.4 dB	±0.06 dB
-24	-0.4 dB	-24,02	+0.4 dB	±0.06 dB
-28	-0.4 dB	-27,92	+0.4 dB	±0.06 dB
-32	-0.4 dB	-31,93	+0.4 dB	±0.06 dB
-36	-0.4 dB	-36,05	+0.4 dB	±0.06 dB
-40	-0.4 dB	-40,02	+0.4 dB	±0.06 dB
-44	-0.4 dB	-43,98	+0.4 dB	±0.06 dB
-48	-0.4 dB		+0.4 dB	±0.06 dB
-52	-0.4 dB		+0.4 dB	±0.06 dB
-56	-0.4 dB		+0.4 dB	±0.06 dB
-60	-0.4 dB		+0.4 dB	±0.11

Agilent Technologies				
Model 8591E		Report No. _____		
Serial No. _____		Date _____		
Test Description	Results Measured			Measurement
	Min.	TR Entry	Max.	Uncertainty
13. Scale Fidelity				
Linear Mode				
% of Ref Level				
100.00	0 (Ref)	0,0	0 (Ref)	
70.70	151.38 mV	158,1	164.80 mV	±1.84 mV
50.00	105.09 mV	112,2	118.51 mV	±1.84 mV
35.48	72.62 mV	79,6	86.04 mV	±1.84 mV
25.00	49.19 mV	56,01	62.61 mV	±1.84 mV
<i>Option 130 only:</i>				
% of Ref Level				
100.00	151.38 mV		164.80 mV	
70.70	105.09 mV		118.51 mV	±1.84 mV
50.00	72.62 mV		86.04 mV	±1.84 mV
35.48	49.19 mV		62.61 mV	±1.84 mV
25.00	151.38 mV		164.80 mV	±1.84 mV
Log-to-Linear Switching				
	-0.25 dB		+0.25 dB	±0.05 dB
<i>Option 130 only:</i>				
	-0.25 dB		+0.25 dB	±0.05 dB

Agilent Technologies				
Model 8591E			Report No. _____	
Serial No. _____			Date _____	
Test Description	Results Measured			Measurement
	Min.	TR Entry	Max.	Uncertainty
14. Reference Level Accuracy				
Log Mode				
Reference Level (dBm)				
-20	0 (Ref)	0,0	0 (Ref)	
-10	-0.40 dB	0,05	+0.40 dB	±0.06 dB
0	-0.50 dB	-0,03	+0.50 dB	±0.06 dB
-30	-0.40 dB	-0,04	+0.40 dB	±0.06 dB
-40	-0.50 dB	0,05	+0.50 dB	±0.08 dB
-50	-0.80 dB	-0,04	+0.80 dB	±0.08 dB
-60	-1.00 dB	0,02	+1.00 dB	±0.12 dB
-70	-1.10 dB		+1.10 dB	±0.12 dB
-80	-1.20 dB		+1.20 dB	±0.12 dB
-90	-1.30 dB		+1.30 dB	±0.12 dB
Linear Mode				
Reference Level (dBm)				
-20	0 (Ref)	0,0	0 (Ref)	
-10	-0.40 dB	-0,02	+0.40 dB	±0.06 dB
0	-0.50 dB	0,01	+0.50 dB	±0.06 dB
-30	-0.40 dB	-0,03	+0.40 dB	±0.06 dB
-40	-0.50 dB	-0,02	+0.50 dB	±0.08 dB
-50	-0.80 dB	0,04	+0.80 dB	±0.08 dB

Agilent Technologies


Model 8591E Report No. _____

Serial No. _____ Date _____

Test Description	Results Measured			Measurement
	Min.	TR Entry	Max.	Uncertainty
16. Absolute Amplitude Calibration and Resolution Bandwidth Switching Uncertainties				
Absolute Amplitude Uncertainty	-20.15 dB	-20,02	-19.85 dB	N/A
Resolution Bandwidth Switching Uncertainty				
Resolution Bandwidth				
3 kHz	0 (Ref)	0,0	0 (Ref)	
1 kHz	-0.5 dB	0,02	+0.5 dB	+0.07/-0.08 dB
9 kHz	-0.4 dB	-0,01	+0.4 dB	+0.07/-0.08 dB
10 kHz	-0.4 dB	-0,12	+0.4 dB	+0.07/-0.08 dB
30 kHz	-0.4 dB	-0,18	+0.4 dB	+0.07/-0.08 dB
100 kHz	-0.4 dB	-0,23	+0.4 dB	+0.07/-0.08 dB
120 kHz	-0.4 dB	-0,25	+0.4 dB	+0.07/-0.08 dB
300 kHz	-0.4 dB	-0,09	+0.4 dB	+0.07/-0.08 dB
1 MHz	-0.4 dB	-0,25	+0.4 dB	+0.07/-0.08 dB
3 MHz	-0.4 dB	-0,32	+0.4 dB	+0.07/-0.08 dB
<i>Option 130 only:</i>				
3 kHz	0 (Ref)		0 (Ref)	
300 Hz	-0.6 dB		+0.6 dB	+0.07/-0.08 dB
200 Hz	-0.6 dB		+0.6 dB	+0.07/-0.08 dB
100 Hz	-0.6 dB		+0.6 dB	+0.07/-0.08 dB
30 Hz	-0.6 dB		+0.6 dB	+0.07/-0.08 dB

Agilent Technologies				
Model 8591E		Report No. _____		
Serial No. _____		Date _____		
Test Description	Results Measured			Measurement
	Min.	TR Entry	Max.	Uncertainty
17. Resolution Bandwidth Accuracy				
3 dB Resolution Bandwidth				
3 MHz	2.4 MHz	3,008	3.6 MHz	±138 kHz
1 MHz	0.8 MHz	1,023	1.2 MHz	±46 kHz
300 kHz	240 kHz	298,0	360 kHz	±13.8 kHz
100 kHz	80 kHz	98,0	120 kHz	±4.6 kHz
30 kHz	24 kHz	29,0	36 kHz	±1.38 kHz
10 kHz	8 kHz	10,0	12 kHz	±460 Hz
3 kHz	2.4 kHz	3,0	3.6 kHz	±138 Hz
1 kHz	0.8 kHz		1.2 kHz	±46 Hz
6 dB EMI Bandwidth				
9 kHz	7.2 kHz		10.8 kHz	±333 Hz
120 kHz	96 kHz		144 kHz	±4.44 kHz
<i>Option 130 only:</i>				
3 dB Resolution Bandwidth				
300 Hz	240 Hz		360 Hz	±36 Hz
100 Hz	80 Hz		120 Hz	±12 Hz
30 Hz	24 Hz		36 Hz	±3.9 Hz
6 dB EMI Bandwidth				
200 Hz	160 Hz		240 Hz	±24 Hz
18. Calibrator Amplitude Accuracy				
	-20.4 dBm	-19,98	-19.6 dBm	±0,2 dB
<i>75 Ω input only:</i>	+28.35 dBmV		+29.15 dBmV	±0.2 dB

EK-2 SİMKAL KALİBRASYON MERKEZİ-ÖRNEK KALİBRASYON SERTİFİKASI

TÜRKAK TÜRK AKREDİTASYON KURUMU TURKISH ACCREDITATION AGENCY tarafından akredite edilmiştir.		 TS EN ISO/IEC 17025 34006-01	
SİMKAL	SİMKAL Kalibrasyon ve Danışmanlık Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi Yakacık Caddesi No:111 Kartal 34870 İstanbul/TÜRKİYE	34006-01 2004 E 1800 05.2004	
Sayfa No : 1 / 8 Page Number	Kalibrasyon Sertifikası Certificate of Calibration		
Cihazın Sahibi : TURKCELL İLETİŞİM HİZMETLERİ A.Ş.(RNIOM) Customer TURKCELL PLAZA MEŞRUTİYET CAD. NO.163 TEPEBAŞI / İSTANBUL			
İstek Numarası : 17025 Order No			
Makine / Cihaz : SPECTRUM ANALYZER Instrument / Device			
İmalatçı : HEWLETT PACKARD Manufacturer			
Tip : 8591E Type			
Seri Numarası : 3346A02271 Serial Number	Envanter No : Inventory Number		
Kalibrasyon Tarihi : 01.05.2004 Date of Calibration	Bölüm / Masraf Yeri : Division		
Sertifikanın Sayfa Sayısı : 8 Number of Pages of The Certificate	Simkal Kodu : TUR1430001 Simkal Code		
Bu kalibrasyon sertifikası, Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) tanımlanmış birimleri realize eden ulusal ölçüm standartlarına izlenebilirliğini belgeler. This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the unit of measurement according to the International System of Units (SI). Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metodları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir. The measurements, uncertainties with confidence probability and calibrations methods are given on the following pages which are part of this certificate.			
Mühür Seal	Tarih Date 01.05.2004	Kalibrasyonu Yapan Calibrated by Mühendis O.Ozan FILİZ	Kalibrasyon Laboratuvarın Müdürü Head of Calibration Laboratory Hanife URAL
			
Bu sertifika laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçerli değildir. this certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.			
tel:+90 (216) 488 77 77 Fax:+90 (216) 488 39 98		http://www.simkal.com.tr e-mail:simkal@simkal.com.tr	

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Çanakkale’de doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Çanakkale’nin Biga ilçesinde tamamladı. 1996 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nden 2001 yılında Elektronik ve Haberleşme Mühendisi olarak mezun oldu. Ekim 2001 - Haziran 2004 tarihleri arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı.

