T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI

MEGEP

(MESLEKİ EĞİTİM VE ÖĞRETİM SİSTEMİNİN
GÜÇLENDİRİLMESİ PROJESİ)

BİYOMEDİKAL CİHAZ TEKNOLOJİLERİ

SİNYAL ANALİZİ

ANKARA 2008

Milli Eğitim Bakanlığı tarafından geliştirilen modüller;

- Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığının 02.06.2006 tarih ve 269 sayılı Kararı ile onaylanan, Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında kademeli olarak yaygınlaştırılan 42 alan ve 192 dala ait çerçeve öğretim programlarında amaçlanan mesleki yeterlikleri kazandırmaya yönelik geliştirilmiş öğretim materyalleridir (Ders Notlarıdır).
- Modüller, bireylere mesleki yeterlik kazandırmak ve bireysel öğrenmeye rehberlik etmek amacıyla öğrenme materyali olarak hazırlanmış, denenmek ve geliştirilmek üzere Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında uygulanmaya başlanmıştır.
- Modüller teknolojik gelişmelere paralel olarak, amaçlanan yeterliği kazandırmak koşulu ile eğitim öğretim sırasında geliştirilebilir ve yapılması önerilen değişiklikler Bakanlıkta ilgili birime bildirilir.
- Örgün ve yaygın eğitim kurumları, işletmeler ve kendi kendine mesleki yeterlik kazanmak isteyen bireyler modüllere internet üzerinden ulaşılabilirler.
- Basılmış modüller, eğitim kurumlarında öğrencilere ücretsiz olarak dağıtılır.
- Modüller hiçbir şekilde ticari amaçla kullanılamaz ve ücret karşılığında satılamaz.

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR iii
GİRİŞ 1
ÖĞRENME FAALİYETİ–1 3
1. SPEKTRUM ANALİZÖRÜ 3
1.1. Spektrum Analizörünün Tanıtılması 3
1.1.1. Spektrum Analizörlerin Temelleri 4
1.1.2. Düşük Maliyetli Spektrum Analizörleri 8
1.2. Komütatör ve Anahtarların Görevleri 11
1.3. Kalibrasyon ve Sinyalinin Güç ile Frekansının Ölçülmesi 18
UYGULAMA FAALİYETİ 19
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 21
ÖĞRENME FAALİYETİ–2 22
2. GÜRÜLTÜ ANALİZİ 22
2.1. Tanımı 22
2.2. Gürültü Çeşitleri 23
2.2.1. Isıl Gürültü 23
2.2.2. Schottky Gürültüsü 24
2.2.3. Artık Gürültü 24
2.2.4. Çığ Gürültüsü 25
2.2.5. Çoklu Durum Gürültüsü 25
2.3. Gürültü Kaynaklarının Tespiti 25
2.4. Gürültü Ölçerler 26
2.4.1. Gürültünün Hesaplanması 26
2.4.2. Gürültü Ölçümü ve Teknikleri 27
2.5. Gürültünün Spektrum Analizörü ile Ayırt Edilmesi 34
2.6. Biyomedikal Sistemlerde Gürültü Azaltma Yöntemleri 35
UYGULAMA FAALİYETİ 43
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 45
ÖĞRENME FAALİYETİ–3 47
3. ELEKTROMANYETİK ALAN ANALİZİ 47
3.1. Elektromanyetik Alan 47
3.2. Spektrum Analizörü ile Elektromanyetik Sinyallerin Gözlenmesi ve Ölçme 48
UYGULAMA FAALİYETİ 49
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 51
ÖĞRENME FAALİYETİ–4 52
4. DEĞİŞKEN SİNYALLERİN ANALİZİ 52
4.1. Sinyallerde Değişken Çeşitleri ve Tanımları 52
4.2. Modülasyon 52
4.2.1. Genlik Modülasyonu 53
4.2.2. Frekans Modülasyonu 58
4.2.3. Faz Modülasyonu 61
4.2.4. Darbe Modülasyonu 63
4.2.5. Darbe Kod Modülasyonu (PCM) 73
4.2.6. Delta Modülasyonu 81
4.3. Ölçüm Yöntemleri 87

4.3.1. Osiloskop ile Gerilim Ölçmek 87
4.3.2. Osiloskop ile Frekans Ölçmek 89
UYGULAMA FAALİYETİ 90
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 92
MODÜL DEĞERLENDİRME 94
CEVAP ANAHTARLARI 96
ÖNERİLEN KAYNAKLAR 99
KAYNAKÇA 100

AÇIKLAMALAR

KOD	**523EO0197**
ALAN	**Biyomedikal Cihaz Teknolojileri**
DAL/MESLEK	**Alan Ortak**
MODÜLÜN ADI	**Sinyal Analizi**
MODÜLÜN TANIMI	Ölçmenin önemini, ölçü aletlerinin ortak özelliklerini biyomedikal cihaz ve çalışma ortamlarındaki elektriksel sinyalleri kavrama ve analiz edebilmeyle ilgili bilgi ve becerilerin kazandırıldığı öğrenme materyalidir.
SÜRE	**40/32**
ÖN KOŞUL	
YETERLİK	Biyomedikal cihaz ve çalışma ortamlarındaki elektriksel sinyalleri analiz etmek
MODÜLÜN AMACI	**Genel Amaç** Bu modül ile gerekli ortam sağlandığında ölçmenin önemini, ölçü aletlerinin ortak özelliklerini kavrayarak biyomedikal cihaz ve çalışma ortamlarındaki elektriksel sinyalleri analiz edebileceksiniz. **Amaçlar** **1.** Spektrum analizörü ile gerekli ayarlamaları yaparak ölçümler yapabileceksiniz. **2.** Gürültü analizi yapabileceksiniz. **3.** Elektromanyetik alan analizini yapabileceksiniz. **4.** Tıbbi amaçlı değişken sinyallerin analizini yapabileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	**Ortam:** Sistem analiz atölyesi, ölçme ve işaret işleme atölyesi **Donanım:** Spektrum analizörü, sinyal jeneratörü, ayarlı güç kaynağı, analog-dijital-dilli frekansmetre, analog- dijital wattmetre ve sayaç, ampermetre, voltmetre, frekansmetre, akıölçer, analog ölçü aletleri, dijital ölçü aletleri, pano tipi ölçü aletleri, ölçü aletleri katalogları
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	Her öğrenme faaliyetinin sonunda, verilen ölçme araçlarıyla kazandığınız bilgileri ölçerek kendinizi değerlendireceksiniz. Ayrıca modül sonunda, öğretmeniniz size, öğrenme faaliyetleri, uygulamalar ve araştırmalar sonucunda kazandığınız bilgi ve becerileri ölçmek için bir yeterlilik testi uygulayacaktır.

GİRİŞ

Sevgili Öğrenci,

Elektrik ile çalışan bütün cihazlar bir elektriksel sinyal meydana getirir. Bu sinyallerin insanların sağlık hizmetlerinden faydalanması sürecinde kullanılan biyomedikal cihazları etkilemesi istenmeyen bir durumdur. Bu istenmeyen sinyallerin analizinin yapılması ve cihazları etkilemesi önemlidir. Bunun için sırasıyla spektrum analizörü, gürültü ve elektromanyetik alan analizi ile değişken sinyallerin analizi hakkında bilgi sahibi olunması gereklidir.

Biyomedikal cihazları etkilememesi istenilen sinyaller hakkında gerekli bilgileri ölçümler yaparak inceleyebiliriz. Bunun için gerekli olan temel cihaz spektrum analizördür. Spektrum analizör ile yapılacak olan ölçümler ile sinyaller hakkında detaylı bilgiler edinilebilir. Bu bilgiler frekans değeri, güç, sinyaldeki modülasyon hakkında bilgi, frekansın harmonikleri vb. bilgilerdir.

Biyomedikal sistemlerin bulunduğu ortamlardaki gürültü kaynaklarının tespiti, gürültünün ölçülmesi ve azaltılması da çok önemlidir. Elektriksel gürültünün ölçümü için gürültü ölçüm cihazları ve spektrum analizörden faydalanılır. Çalışma ortamındaki elektrikli cihazların oluşturduğu elektromanyetik alan sonucu oluşan sinyaller de analiz yapılırken dikkat edilmesi gereken etkenlerdendir.

Sinyallerin analizi yapılırken değişken çeşitleri; frekans, faz, genlik, dalga şekilleri ve modülasyon çeşitleri hakkında da bilgi sahibi olunması gerekir. Bu bilgiler doğrultusunda ve yapılan ölçümler sonucunda sinyaller hakkında analiz yapmak daha doğru olur.

Bu modül, biyomedikal cihazların çalışma ortamlarındaki elektriksel sinyallerini analiz edebilme bilgi ve becerisini vermeyi amaçlamaktadır.

ÖĞRENME FAALİYETİ–1

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetini başarıyla tamamladığınızda, spektrum analizörü ile ölçüm yapabileceksiniz.

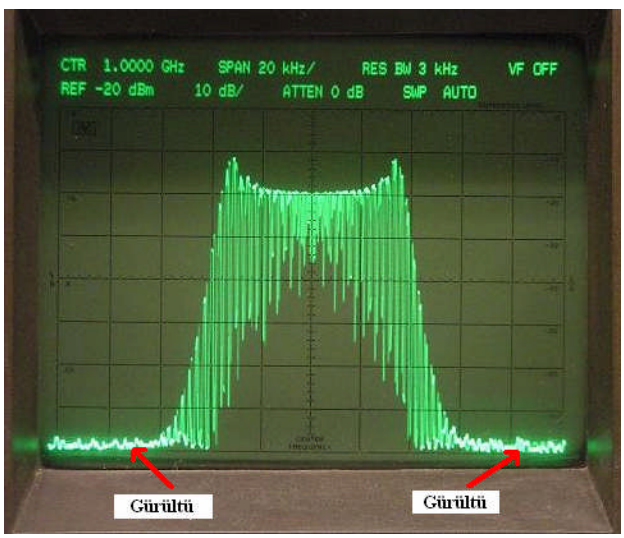
ARAŞTIRMA

- Spektrum analizörünün kullanımı hakkında bilgi toplayınız. Bu bilgilere internetten, elektronik kitaplarından ve çevrenizdeki işletmelerden ulaşabilirsiniz.
- Spektrum analizörü ile ölçüm yapılırken nelere dikkat edilmesi gerektiğini araştırınız.

1. SPEKTRUM ANALİZÖRÜ

1.1. Spektrum Analizörünün Tanıtılması

Spektrum analizörü, süperheterodin radyo alıcıları, (frekans tarayıcı), lokal osilatörler ile frekans vb. genlik görüntüsünü veren bir osiloskopla beraber bir araya getirilmiş bir cihazdır. Bu cihaz sinyal kaynaklarının spektral (tayfla ilgili) temizliğini, netliğini kontrol etmek için; lokal elektromanyetik parazit problemlerini (EMI) incelemekte; radyo veya alıcı iletim ekipmanlarını yüklemesinde, site yönlendiricilerine önemli bilgiler vermekte; vericilerin test edilmesinde ve diğer uygulamaların sunulmasında önemli bir rol oynamaktadır.



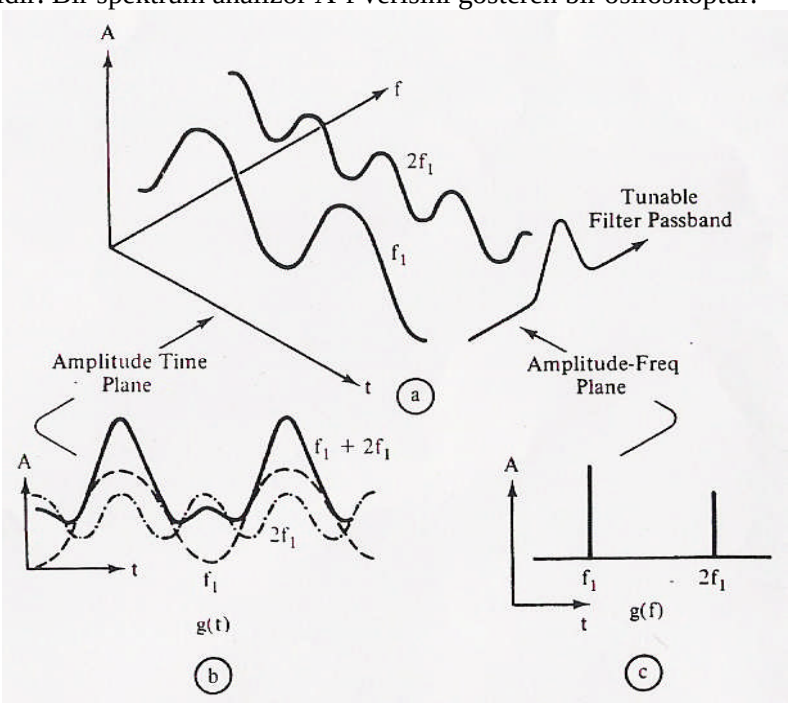
Fotoğraf 1.1

Bu bölümde, spektrum analizör işleminin temellerini öğreneceksiniz ve de tipik spektrum analizör ölçümlerini deneyeceksiniz, laboratuvar elemanları içinde spektrum analizörü kullanmanın neden daha düşük maliyetli olduğunu ve bileşenlerin neden daha kolay elde edilebilir olduğunu öğreneceksiniz.

1.1.1. Spektrum Analizörlerin Temelleri

Şekil 1.1 zaman ve frekans domenleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu örnekte, bir temel sinüs dalgası ile bunun 2. harmoniğinin toplamından oluşan bir dalga şekli gösterilmektedir. Şekil 1.1(a), genlik-zaman (A-t) bilgisini ve genlik-frekans (A-f) bilgisini işaretleyerek üç boyutlu bir koordinat sistemini göstermektedir.

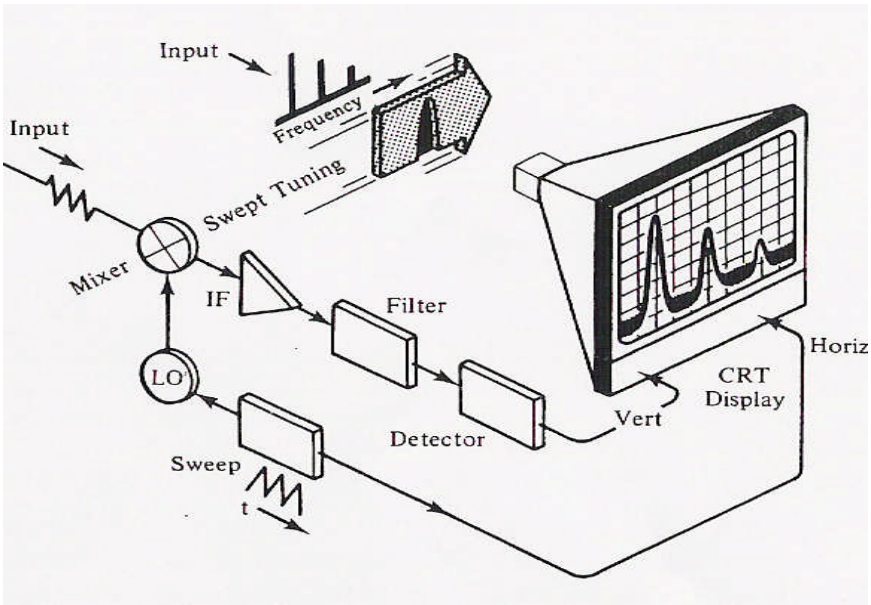
Şekil 1.1(b) görüldüğü gibi A-t düzleminde birleşimi göstermektedir. Elde edilen eğri esas sinyal üzerindeki 2. harmonik parazit için klasik dalga şeklidir. Ancak, Şekil 1.1(c)' deki şekil biraz farklıdır. Bu şekil iki bileşenin birbiri ile ilişkili genliklerini gösteren bir A-f çubuk grafiğidir. Bir spektrum analizör A-f verisini gösteren bir osiloskoptur.



Şekil 1.1: Frekans zaman domenleri

Spektrum analizör, gerçekte tarama jeneratörü olan bir lokal osilatör gibi bir süperheterodin alıcısıdır (Şekil 1.2). Düşük frekanslı testere-dişi dalga, tarama osilatörü ve CRT'nin yatay saptırma levhalarının her ikisine birden uygulanır. Bu da frekansın bir fonksiyonu olan yatay sapmayı oluşturur. Taranan osilatörün en düşük frekansı taramanın sol tarafından elde edilir. En yüksek frekansta sağ taraftan elde edilir. Tarama soldan sağa doğrudur.

Giriş sinyalleri, IF (farksal) sinyalleri üretmek için lokal osilatör sinyali ile karıştırılır. IF yükseltecin bant genişliği darbant ile ilişkilidir. Bu nedenle dedektördeki çıkış sinyali, o anda IF' ye çevrilen LO frekansıyla ilişkili bir dayanım gücüne (strength) sahip olacaktır. Ekran daha sonra, çeşitli giriş frekans bileşenlerinin genliklerini gösteren "poles" çubuklar içerecektir.



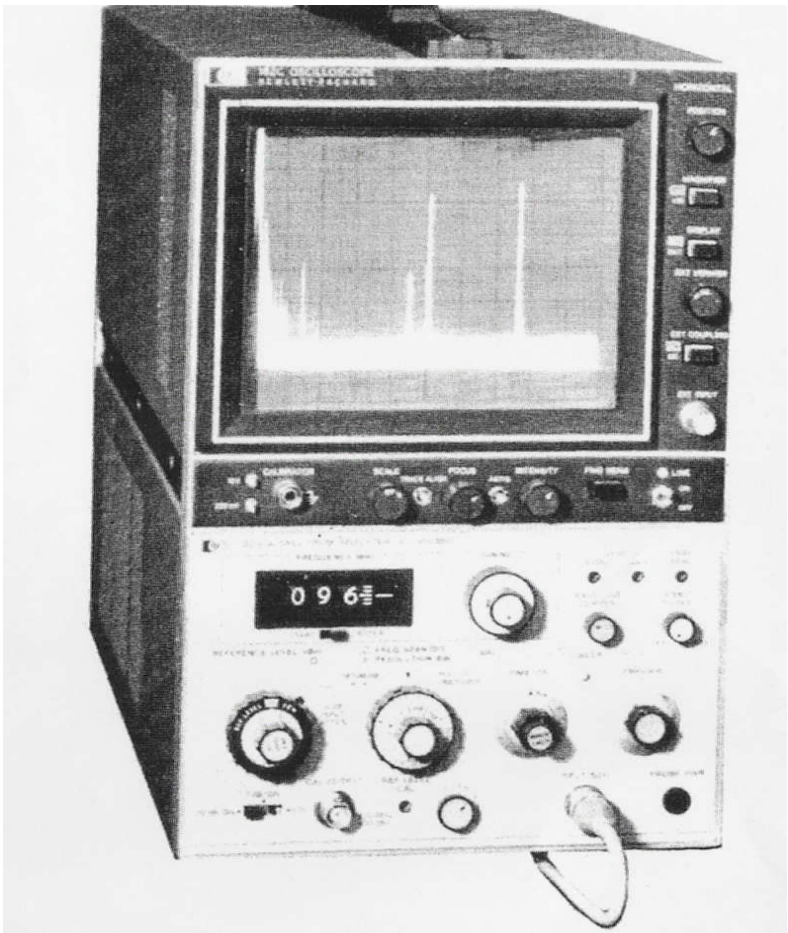
Şekil 1.2: Spektrum analizörün blok diyagramı

Yaygın spektrum analizörlerinin 2 örneği Resim 1.1 ve Resim 1.2'de gösterilmektedir. Resim 1.1'de gösterilen örnek bir 8557A Hewlett Packard modelidir. Bu 10 kHz' den 350 mHz' e kadar bir aralığa sahiptir ve -117 ve +20 dB arasında sinyal seviyelerine yer sağlayabilir. Bu model 5 kHz/dıv' den 20 mHz/dıv' e, 1-2-5 serisi içinde kalibre edilmiş 12 tarama hızına sahiptir. Çözünürlük aralığına bağlı olarak da 1 kHz' den 3 mHz' e kadar değişir. Daha geniş aralıklı bazı cihazlar Resim 1.2'de gösterilmektedir.

Şekil 1.3'te bazı spektrum analizörü eğrileri gösterilmektedir. Şekil 1.3(a)'da, 1500 mHz kristal kontrollü osilatörün çıkış spektrumunu göstermektedir. Spektrum analizörü 10Hz çözünürlük için ayarlanmıştır.

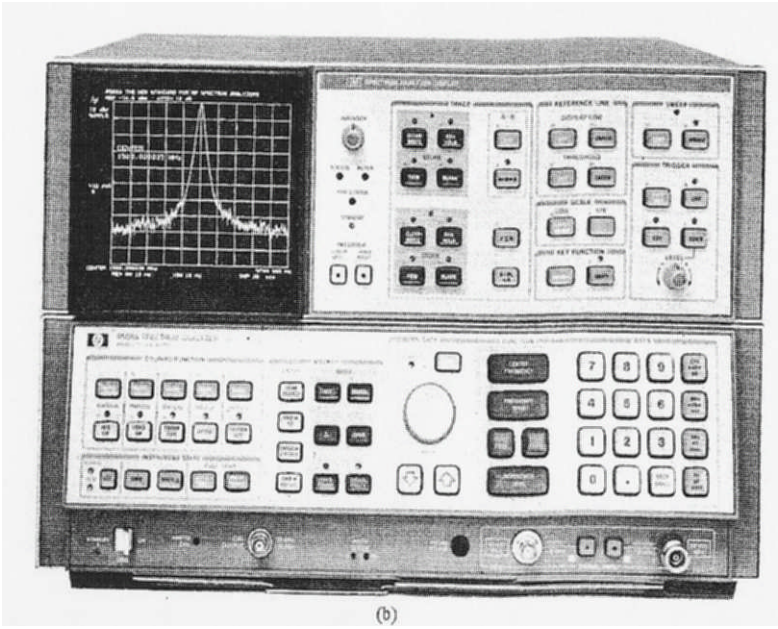
Bir 20 mHz transmitter üzerindeki 2 ton ara modülasyon distersiyon testinin sonuçları Şekil 1.3 (b)' de gösterilmiştir. Dikkat edilmelidir ki çıkış oldukça temizdir. 3.sıra IM ürünleri 85 dB aşağıdan daha büyüktür.

Şekil 1.3 (c)'de 247 mHz' lik bir transmitterin spektrumunu, düşük frekans modülasyon sinyalleri ile üretilen yan bantları ile görmekteyiz. 1000 mHz AM transmitter spektrumu şekil 1.3 (d)'de gösterilmektedir. Yan bantlar modülasyon sinyalinin 2. harmoniğine göre üretileni adeta sinyalin kendisi tarafından üretilmiş kadar iyi bir şekilde her ikisini de içermektedir.

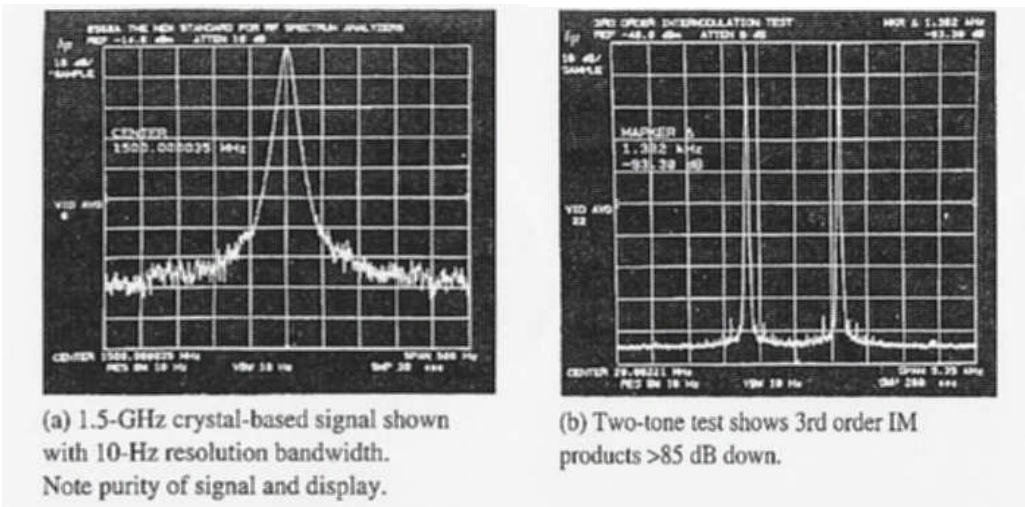


Resim 1.1: 10kHz'den 350 MHz'e spektrum analizörü

Spektrum analizörün, teknolojinin birçok alanında uygulamaları bulunmaktadır. Bununla beraber, bir iletişim transdüserinin bir sinyali fourier serilerinin bulunmasında ya da transmitterin çıkışının kontrolünde kullanılır. Biz, spektrum analizörü kullanarak test edilen sistemler hakkında çok şey ortaya çıkarabiliriz.



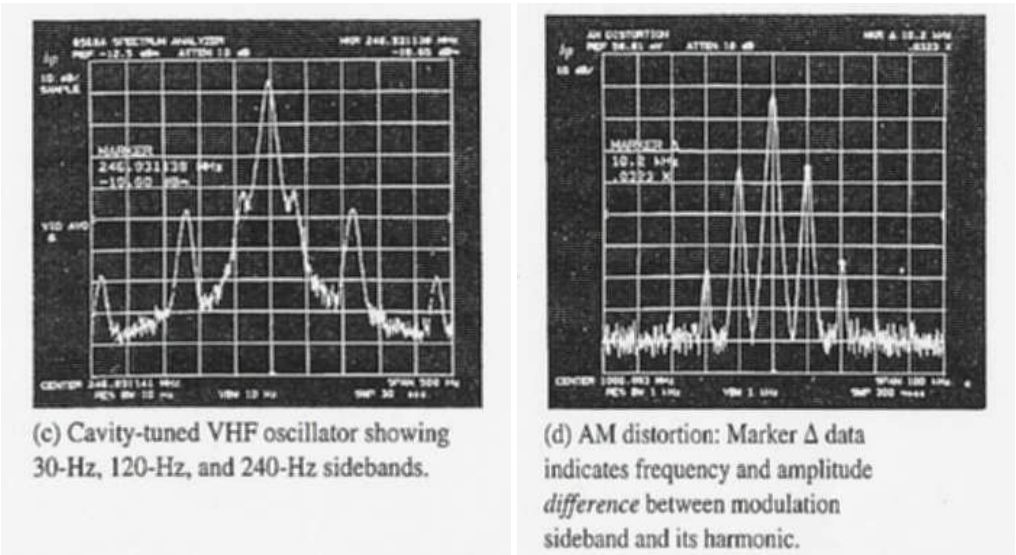
Resim 1.2: 100 Hz'den 1,5 GHz'e spektrum analizörü



(a) 1.5-GHz crystal-based signal shown with 10-Hz resolution bandwidth. Note purity of signal and display.

(b) Two-tone test shows 3rd order IM products >85 dB down.

Şekil 1.3: Spektrum analizör eğri örnekleri (a)-(b)



(c) Cavity-tuned VHF oscillator showing 30-Hz, 120-Hz, and 240-Hz sidebands.

(d) AM distortion: Marker Δ data indicates frequency and amplitude *difference* between modulation sideband and its harmonic.

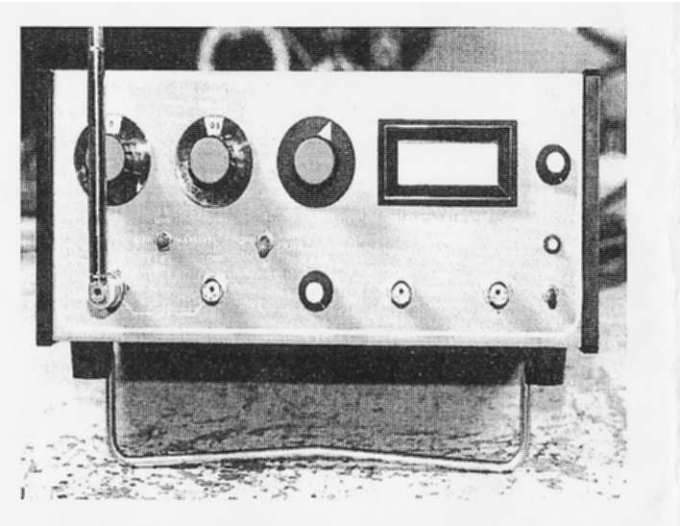
Şekil 1.3: Spektrum analizör eğri örnekleri (c)-(d)

1.1.2. Düşük Maliyetli Spektrum Analizörleri

Son yıllarda yeni bir tür spektrum analizörü kullanılmaya başlandı. Söz ettiklerimizle henüz aynı kalitede olmamalarına rağmen bunlar birçok uygulama için elverişli ve de tatmin edicidir. Örneğin daha düşük maliyetli üniteler, bir radyo transmiterin kendi temel işlenen frekansından başka illegal harmoniklere sahip olup olmadığı ortaya çıkacaktır.

Benzer şekilde, bu cihazlar site yönlendiricileri (surveys) ve EMI problemleri için kullanılabilir. Özellikle de eğer işaretleyici (marker) osilatörler ile ekipmanlandırılmış ise veya diğer anlamlarda daha iyi frekans görüntü kalibrasyonu içinse.

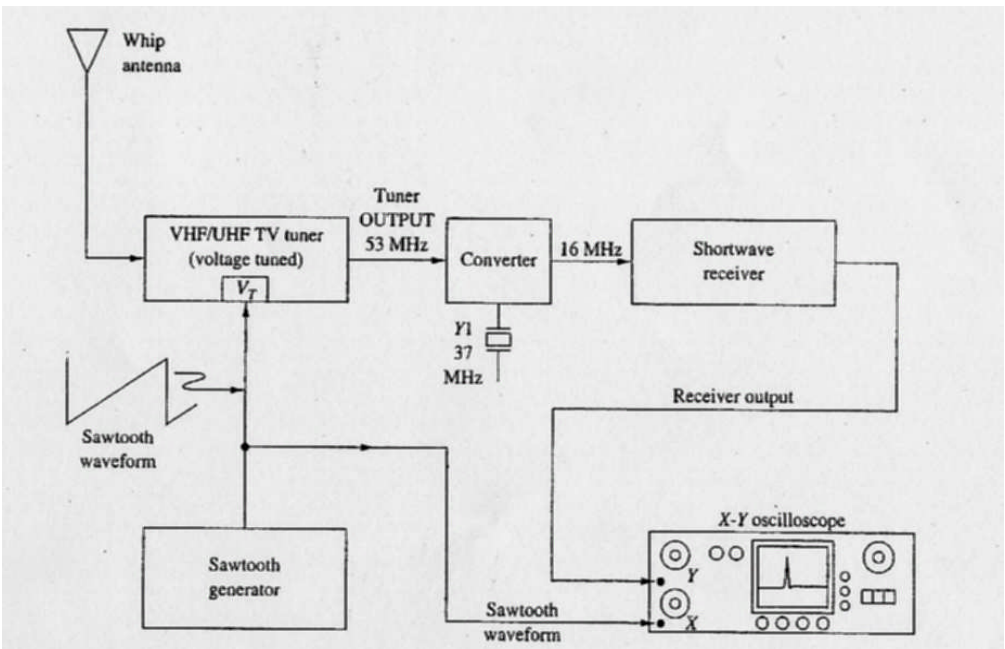
Resim 1.3 basit, düşük maliyetli Penntek Instruments tarafından üretilen spektrum analizörünü göstermektedir. Bu harici bir X-Y osiloskop kullananlar için tasarlanmıştır, eğer ihtiyaç duyulursa harici bir testere dişi dalga üretecinden sürülebilir. Bu cihazlar 30 MHz 'den 1300 MHz' e VHF' yi gözler.



Resim 1.3: Düşük maliyetli spektrum analizörü

1.1.2.1. Düşük Maliyetli Bileşenlerle Spektrum Analizörü Uygulamaları

Basit düşük maliyetli bileşenleri kullanarak bir spektrum analizörü oluşturmak mümkündür. Şekil 1.4, atölye yapımı bir cihaz için blok diyagramı göstermektedir. Bu spektrum analizörünün başlangıç-son tarama-frekansı bir voltaj-ayarlı televizyon veya kablo konverter tunerdir. Bu cihazlar 54'ten 900 MHz'e kadar 0'dan 30 V'a voltaj ile ayarlanır.



Şekil 1.4: Basit iş yeri yapımı bir spektrum analizör blok diyagramı

Televizyon tunerleri kolaylıkla marketlerden bulunabilir veya kullanılmış TV alıcılarından elde edilebilir. Bu tunerlerin çoğunluğunun merkez çıkış frekansı 45 veya 53 MHz civarı olmaktadır. Tunerin bant genişliği ise 6'dan 10 MHz' e kadar olmaktadır.

0'dan 30 V'a kadar dalga şekli üretecek bir testere dişi jeneratöre ihtiyaç vardır. Birçok konuda standart laboratuvar servis dükkânları yapımı testere dişi jeneratör kullanılabilir. Eğer +30 V DC çıkış tavan değeri ile harici bir yükselteç sağlanırsa, 20 Hz' den 50 Hz'e bir testere dişi frekans kullanılarak osiloskop ekranı üzerinde titreme oluşturmak için ayarlanabilir.

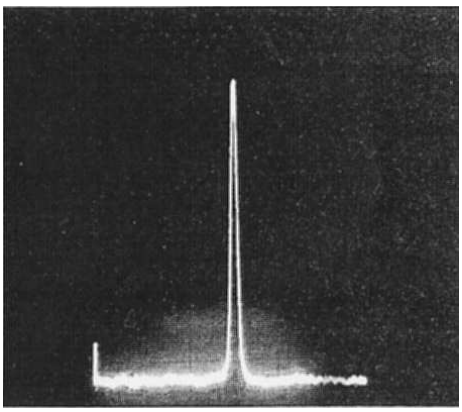
Eğer bir 53 MHz (veya 45 MHz) alıcı bulunabiliyorsa daha sonra bunu TV tunerinin çıkışını direkt ayarlamak için kullanabilirsiniz. Diğer taraftan, 53 MHz frekanstaki bir konvertör yerine NE602AN IC gibi daha düşük bir konvertör kullanmak, kısa dalga bandının ortasından daha aşağıya çevrilmesine neden olur. Şekil 1.4'te gösterilen blok diyagramda, istenen konverte edilmiş frekans 16 MHz'dir. Bu nedenle 37 MHz veya 69 MHz'li lokal osilatör frekansı ile bir mikser elde edilmek zorundadır.

Şekil 1.4'te gösterilen kısa dalga alıcı, spektrum analizörün kalbidir. Alıcı kolaylıkla elde edilebilir veya otomatik kazanç kontrol (AGC) voltajını çıkışa sağlayabilmek için modifiye edilmek zorundadır. Alternatif olarak AM dedektörün filtrelenmemiş çıkışı kullanılabilir. Birçok basit kısa dalga alıcılarında bu voltaj kolayca elde edilebilir. Ses kontrolün üstü bazen tıkaç (top) için iyi bir noktadır. Ancak, herhangi bir modifikasyondan önce alıcı için şematik danışmadır. Arzu edilen voltaj DC'ye yakındır Bu nedenle burada dedektör ve pick-off noktası arasında herhangi bir kublaj kondansatörü bulunamayacaktır.

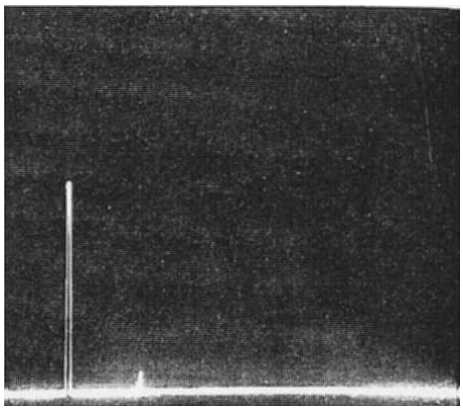
Spektrum analizörünün bu şekli üzerindeki bir sınırlama, alıcı ara frekans (IF) filtreleme tarafından sağlanan çözünürlüktür. Yüksek ücretli ve düşük ücretli spektrum analizörleri arasındaki başlıca fark frekans çözünürlüğüdür. Eğer alıcı sadece AM filtrelerine sahipse çözünürlük 4'ten 8 kHz' e kadar olacaktır (seçilen alıcı modeline bağlı olarak). SSB alıcıları için filtreleme 2.2' den 2.9 kHz' e kadar olacaktır; radyoteletype (RTTY) alıcıları için 1.8 kHz ve CW (Mors kodu) alıcıları için 250, 500 veya 1000 Hz.

Resim 1.4, Science Workshop (Bethpage, NY) tarafından sunulan deneysel ev yapımı spektrum analizör kiti kullanmanın sonuçlarını göstermektedir. Cihaz kiti bir TV/kablo tuneri, bir testere dişi dalga şekli jeneratörü ve sabit-tuner düşük çevirici (konverter) ve 10.7 MHz alıcıya sahiptir. Resim 1.4(a) ve Resim 1.4(b), 88 MHz'de işlem yapan bir kristal kontrollü test osilatörünün çıkışını göstermektedir. Resim 1.4(a)'da spektrum analizörünün tarama genişliği, sadece bu sinyali ve bunun anlık yan bantlarını göstermek için ayarlanmıştır. Resim 1.4 (b)'de spektrum analizörün tarama genişliği; sinyal jeneratörü 2. harmonik bileşeni üretmektedir, gerçeğini ortaya çıkarmak için daha da genişletilmiştir. (2.Harmonik bileşeni=geniş spike'ın sağındaki küçük spike) Skala lineerdir, bu nedenle 2. Spike uzunluğunun oranını almak, 2.harmoniklerin ana taşıyıcı sinyalden sadece -19dB (voltaj) aşağı olduğunu göstermektedir.

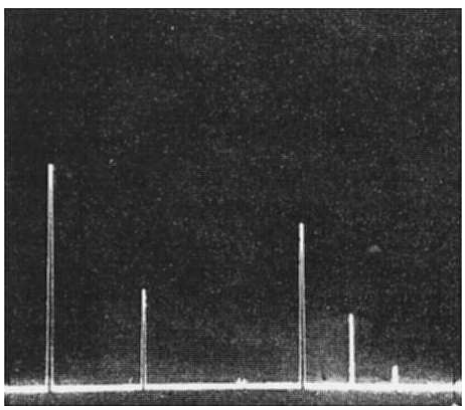
Resim 1.4(c) FM yayın bandının düşük seviyesine spektrum analizörünün ayarlanmasının (tune) sonuçlarını göstermektedir. Bu model Washington, DC yakınlarından alınmıştır. Uzak sol taraf üstündeki atlama WAMU-FM (88.5MHz)'i onaylamaktadır, diğer atlamalar 88 MHz' den yaklaşık 3 MHz daha fazlası için sinyalleri gösterirken görülmektedir.



Resim 1.4 (a): Hassasiyet azaldığı zamanlar için spektrum analizörün görüntüsü



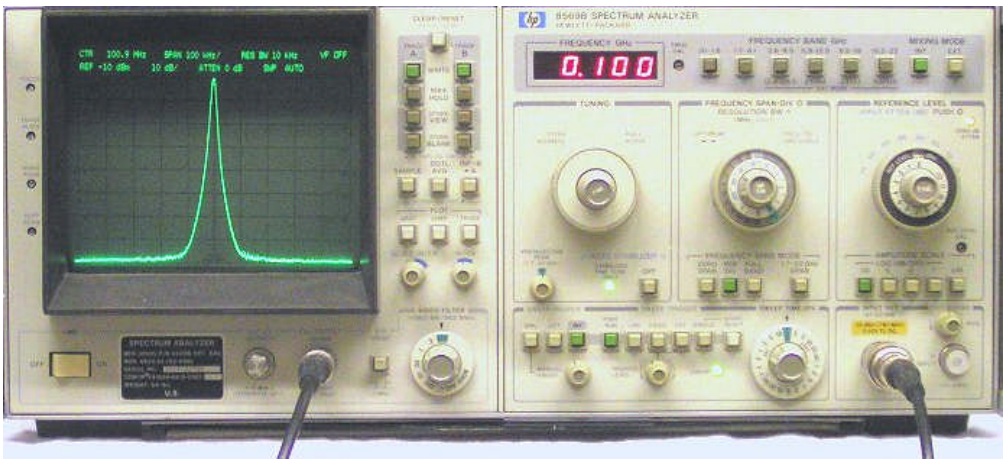
Resim 1.4(b): Hassasiyet arttığı zamanlar için spektrum analizörü görüntüsü



Resim 1.4 (c): Fm yayın bandının sonundaki spektrum analizörün ayarlama sonucu

1.2. Komütatör ve Anahtarların Görevleri

Bu bölümde spektrum analizörün temel düğmelerinden bahsedilecektir. Diğer düğmeler spesifik ölçümlerde kullanıldığından ve modelden modele değiştiğinden bu modülde değinilmeyecektir. Burada anlatılan spektrum analizör HP8596B modelidir. Bu marka ve modele özgü bazı düğmelerde aşağıda açıklanmıştır. Spektrum analizörün ön panelinin görüntüsü Resim 1.5'teki gibidir.



Resim 1.5:Spektrum analizörün ön panelinin görünüşü(HP8569B)

Resim 1.6: Refrence level düğmesi

- **Reference Level Düğmesi**: HP8569B model spektrum analizörde, giriş sinyalinin ölçüm değerleri içinde okunabilmesi için 8 kademeli güç zayıflatıcı (power attenuation) bulunur. Bu düğme spektruma uygulanan sinyallerin detaylı incelenmesinde kullanılır. Spektruma uygulanan sinyallerin, maksimum giriş değerlerini geçmemesine dikkat edilmelidir (1W, 0VDC).Ayrıca DC gerilim uygulanamaz.

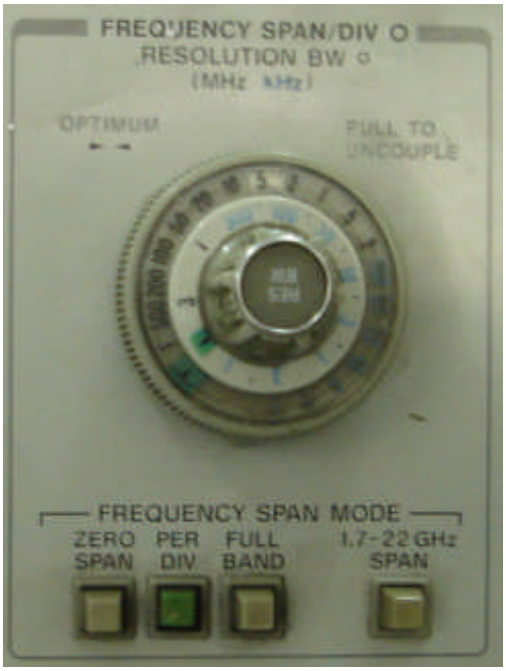
  Örneğin; gelen sinyal, zayıflatıcı ile ayarlanarak, tepe değeri maksimum okuma sınırları içinde tutularak diğer frekanslar relatif olarak dB cinsinden okunabilir. Ana sinyale göre harmonik olup olmadığı gözlenebilir.

Resim 1.7: Tuning düğmesi

- **Tuning Düğmesi**: Display de hangi frekanstaki sinyallerin gösterileceğini ayarlar. Kısaca frekans eksenini değiştirir.

  Freq. tuning düğmesi ile tahmini olarak okuyacağımız frekansın değeri ekranda gösterilinceye kadar ayarlama yapılır. Tahmini ayarlamalarda freq. span yaklaşık 100MHz, resulation BW ise 100kHz kademelerinde olmalıdır.

  Ekranda ölçülecek sinyal görüldüğünde freq.tuning düğmesi ile merkezlenebilir ve freq.span ve resolution BW ayarları düşürülerek detaylı incelemesi yapılabilir.



Resim 1.8: Frequency span/DIV- resolution BW düğmesi

- **Frequency Span/Div- Resolution Bw Düğmesi:** Freq. span'ı ekranda gösterilecek frekans genişliğini belirler. F/div olarak ayarlanır. Yani yatay her karenin kaç MHz'e tekabül ettiğini gösterir.

  Resolution BW incelenen sinyalin hangi bant genişliğinde incelenmek istediğini ayarlar.

  Resolution BW ayarı freq.span ayarının uygun değerde olmasıyla anlam kazanır. Ekranda istenen uygun detay görüntü oluşuncaya kadar ayarlanır.
  Freq.span düğmesi ile ve resolution BW düğmesi ile görmek istediğimiz sinyalin detaylarını görebiliriz. Yeteri kadar BW ve span ayarı yapılırsa farklı analizleri modülasyon varsa çeşitlerini de (AM, FM şekillerini) görebiliriz.

Resim 1.9: Sweep time/div düğmesi

- **Sweep time/div düğmesi:** Bu ayar düğmesi osiloskobun time/division düğmesine benzer. Display tarama hızını gösterir. Sinyalimizin zaman içindeki spektrumu detaylı tahlil için kullanılır. Ayrıca filtre düğmesi de bulunabilir. Bu düğme sinyalimizi incelerken üzerindeki modülasyon şekillerine göre yorum yapmamıza yardımcı olur. Uygun değer 1mSEC dir.

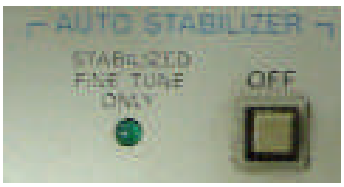
  Yukarıda anlatılan düğmeler temel düğmelerdir. Aşağıda HP8569B modele özgü ve sık kullanılan düğmeler anlatılmıştır.

- **İnten:** Sinyalin parlaklığı ayarlanır.

Resim 1.10: Scale inten ve inten düğmeleri

- **Scale İnten**: Skalanın parlaklık ayarı için kullanılır.

- **Stabilized Fine Tune Only** LED'i: Yanında bulunan düğmeye basıldığında off konumuna geçer. LED eğer yanıyorsa sinyalin taşıyıcısı kaybolmaz. Ekrandaki sinyali kaydırmaz.



Resim 1.11: Auto stabilizer bölümü

- **Full Band:** Tüm sinyali gösterir.
- **Zero Span:** Ana sinyalin referans noktasındaki gücünü verir.
- **Preselector Peak:** Frekans bandının 1,7 GHz ile 22 GHz arasında olduğu durumda sinyallerin ölçümünde max. değere ayarlanması için kullanılır.

Resim 1.12: Preselector peak ayar düğmesi

- **Video:** Video sinyallerini görmek için kullanılır. Video düğmesinin altındaki düğme ile Trigger Leveli ayarlanabilir.
- **Line:** Senkronizasyonu şebekeye göre ayarlar.
- **Free Run:** Senkronizasyonu ayarlamaz. Serbest çalışır.
- **Video Filter:** İdealde, Off konumunda olmalıdır. Çünkü diğer durumlarda gürültü bastırılır. Gürültünün bastırılması için üzerindeki değerler değiştirilerek gürültü bastırılır.

Resim 1.13: Video filter ayar düğmesi

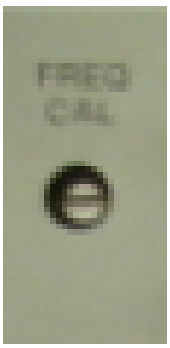
- **Cal Output:** Kalibrasyon ayarı yapılır(100MHz,-10dBm).

Resim 1.14: Cal output kısmı

- **Frekans GHz:** Frekans göstergesidir.

Resim 1.15: Frekans göstergesi

- **Freq.Cal:** Tornavida ile çevrilerek sinyalin frekans kalibrasyonu yapılır.



Resim 1.16: Frekans kalibrasyon ayar vidası

- **Frequency Bant GHz:** 10MHz ile 1,8 GHz arasındaki sinyallerin seçilmesi için kullanılır. Buradaki düğmelerden sinyal aralığı seçilir.

Resim 1.17: Frekans bandı aralığı seçim düğmeleri

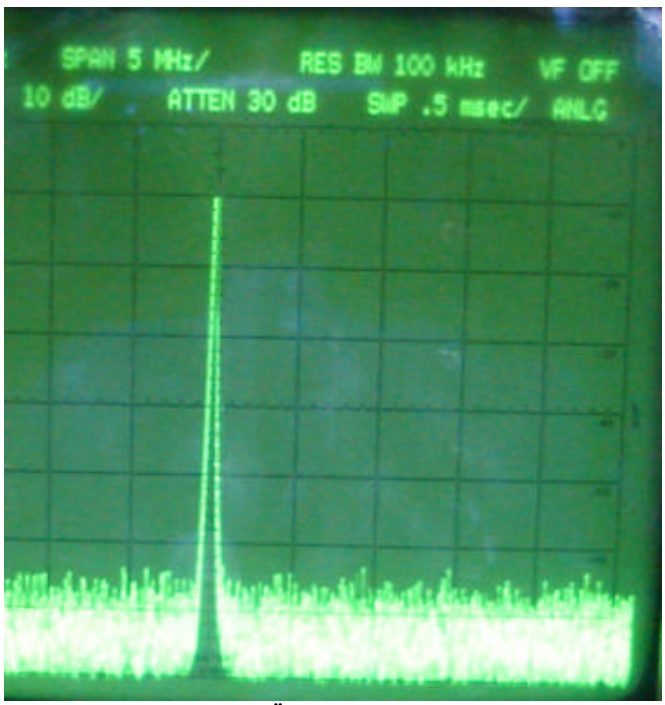
1.3. Kalibrasyon ve Sinyalinin Güç ile Frekansının Ölçülmesi

Spektrum analizör cihazının üzerinde birim frekans ve birim gücünde referans(sabit frekansta ve örnek olarak -10 dB) kaynağı bulunur. Cihaz ilk açıldığında bu referans kaynağı ile cihazın gücü ve frekansı kalibre edilir.

Frekansın ölçülmesi işleminde ise problar spektrum analizöre bağlanır. Ölçüm yapılacak sinyal problar vasıtasıyla spektrum analizöre aktarılır. Ölçüm yapılan sinyalin frekansı, Tuning ve Frequency Span/Dıv- Resolution Bw düğmesi ile ekranda görüntülenene kadar ayar yapılır. Ekrandaki göstergeden sinyalin frekansı okunur.

Güç ölçümü: Spektrum analizördeki ınput atten. değeri güç ölçümünde önemlidir. Bir örnek ile anlatırsak; ölçüm yapılan spektrum analizör HP8569B modeli ve üzerindeki düğmeler ise Input Atten 30dB ve Amplitude scale kısmındaki kademe ise 10dB olsun.

Örnek sinyal görüntüsü Resim 1.18 gibidir. Bu görüntüde ekrandaki sinyalin tepe değerinin referans seviyesine göre arasında 1 kare fark olduğu görülür. Öncelikle spektrum analizörde referans seviyesi bulunur. 30dB-10dB=20dB'dir. Bu değerden sinyalin tepe değerine kaç kare fark var ise amplitude scale kısmındaki değer ile çarpılıp çıkarıldığında sinyalin gücü bulunur[.20dB-(1x10dB)]=10dB



Resim 1.18: Örnek sinyal görüntüsü

UYGULAMA FAALİYETİ

Ortamdaki mevcut elektrik (radyo ,TV) sinyallerini spektrum analizi ile tespit etmek.

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
➢ Spektrum analizörün problarını takınız. ➢ Cihazın sıfır ayarını yapınız. ➢ Spektrum analizörün ölçüm yapılmak istenilen frekans aralıklarını belirleyiniz. ➢ Bant genişliğini belirleyiniz. ➢ Mevcut durumu ekrandan gözlemleyiniz. ➢ Probları cihaza bağlayınız. ➢ Ölçmek istediğiniz frekansın bant genişliğini değiştirerek inceleme hassasiyetini artırınız. ➢ Frekans skalasını değiştirerek işlemi tekrar ediniz. ➢ Mevcut frekansları kayıt ediniz.	➢ Cihaz görüntü ayarlarını kontrol ediniz. ➢ Anten problarını kullanınız. ➢ Gerekli güvenlik önlemlerini alınız. ➢ Bulduğunuz radyo ve TV yayınlarının frekanslarının hangi kanala ait olduğunu araştırıp not ediniz.

PERFORMANS DEĞERLENDİRME

Aşağıda hazırlanan değerlendirme ölçeğine göre yaptığınız çalışmayı değerlendiriniz. Gerçekleşme düzeyine göre "Evet / Hayır" seçeneklerinden uygun olan kutucuğu işaretleyiniz.

KONTROL LİSTESİ

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ		Evet	Hayır
1	Spektrum analizörün problarını taktınız mı?		
2	Cihazın sıfır ayarını yaptınız mı?		
3	Spektrum analizörün ölçüm yapılmak istenilen frekans aralıklarını belirlediniz mi?		
4	Bant genişliğini belirlediniz mi?		
5	Mevcut durumu ekrandan gözlemlediniz mi?		
6	Probları cihaza bağladınız mı?		
7	Ölçmek istediğiniz frekansın bant genişliğini değiştirerek inceleme hassasiyetini artırdınız mı?		
8	Frekans skalasını değiştirerek işlemi tekrar ettiniz mi?		
9	Mevcut frekansları kaydettiniz mi?		

DEĞERLENDİRME

Uygulama faaliyetinde yapmış olduğunuz çalışmayı kontrol listesine göre değerlendiriniz.

Yapmış olduğunuz değerlendirme sonunda eksiğiniz varsa, faaliyete dönerek ilgili konuyu tekrarlayınız.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

OBJEKTİF TESTLER (ÖLÇME SORULARI)

1–4 numaralı soruların başında verilen boşluğa doğru ise D, yanlış ise Y harfi koyunuz.

1. ( )Spektrum analizörü, süperheterodin radyo alıcıları, frekans tarayıcı, lokal osilatörler ile frekans vb. genlik görüntüsünü veren bir osiloskopla beraber bir araya getirilmiş bir cihazdır.

2. ( )Stabilized fine tune only ledi eğer yanıyorsa sinyalin taşıyıcısı kaybolur ve ekrandaki sinyali kayar.

3. ( )Spektruma uygulanan sinyallerin, maksimum giriş değerlerini geçmemesine dikkat edilmelidir.

4. ( )Tuning düğmesi, display'de hangi frekanstaki sinyallerin gösterileceğini ayarlar.

5-8 numaralı sorularda boş bırakılan yerleri uygun şekilde doldurunuz.

5. Ekranda ölçülecek sinyal görüldüğünde ....düğmesi ile merkezlenebilir.

6. Freq. span'ı ekranda gösterilecek frekans ..... belirler.

7. Resolution BW ayarı freq.span ..... uygun değerde olmasıyla anlam kazanır.

8. Sweep Time/Div düğmesi ..... tarama ..... gösterir.

DEĞERLENDİRME

Sorulara verdiğiniz cevaplar ile cevap anahtarını karşılaştırınız, cevaplarınız doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz. Yanlış cevap verdiyseniz öğrenme faaliyetinin ilgili bölümüne dönerek konuyu tekrar ediniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ–2

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetini başarıyla tamamladığınızda, gürültüyü tanıyarak analiz yapabileceksiniz..

ARAŞTIRMA

- Gürültünün tanımı, çeşitleri ve gürültü kaynakları hakkında kütüphane, internet vb. yerlerden yararlanarak araştırma yapınız. Bunları rapor hâline getirerek sınıfta arkadaşlarınızla tartışınız.
- Gürültü ölçümü ve teknikleri hakkında ön bilgi toplayınız.
- Gürültünün biyomedikal sistemler üzerindeki etkilerini ve gürültü azaltma yöntemlerini araştırınız.

2. GÜRÜLTÜ ANALİZİ

2.1. Tanımı

Elektriksel gürültü, alıcı çıkışına kadar ulaşan istenmeyen gerilim ve akımlardır. Gürültü kaynaklarının ürettikleri işaretlerin genlikleri mikrovolt gibi çok küçük seviyelerde olmasına rağmen etkili olmaktadır.

Gürültü, devre elemanlarından kaynaklandığı gibi dış ortamdan da gelebilir. Dış ortamdan gelen gürültü, insan kaynaklı veya doğal olarak sınıflandırılabilir. Bunlar; cihaz veya cihaz içindeki devre elemanlarından kaynaklanabilir. Diğer taraftan insan kaynaklı olarak; güç kaynaklarından, elektrik motorlarından, X-ışın cihazlarından veya floresan lambalarından kaynaklanabilir. Bu gürültüler, radyo dalgaları gibi atmosfer içinde yayılmaktadır. Bu gürültüler çeşitli yollar ile ölçülen işaretlere karışabilir. Bu gürültüler periyodik olmayıp rastgele bir şekilde de değişebilir. Frekansları ise 500 MHz'e kadar yükselebilir. Ses olarak gürültü işaretinin olması hâlinde anlaşma zorlaşır. Görüntüde gürültünün bulunması ise resim veya şekilleri bozar.

İdeal bir elektronik devrenin kendisi gürültü üretmez. Bu nedenle ideal devreden çıkan çıkış sinyali sadece orijinal sinyaldeki gürültüyü içerir. Fakat gerçek elektronik devreler ve bileşenleri bazı belirli seviyede kendisinin doğal seviyesini içerir. Basit sabit değerli bir direnç bile gürültülüdür. İdeal dirençli eş değer bir devre görülmektedir. Doğal gürültü bir gürültü gerilim kaynağı Vn ile gösterilir ve ideal olarak gürültü direnci Ri'dir. Mutlak sıfırın (K veya) üzerindeki her sıcaklıkta, her maddedeki elektronlar, sabit ve rastgele hareket hâlindedir. Bu hareketin doğal rastgeleliğinden dolayı her bir yönde sezilebilen akım yoktur. Diğer taraftan her tek yöndeki elektron sürüklenmeleri, zıt yöndeki eşit sürüklenmeler tarafından kısa zaman periyotlarının üzerinde iptal edilir. Elektron hareketleri bundan dolayı istatistiki olarak birbiri ile ilişkili değildir.

Buna rağmen rastgele akım darbelerinin devamlı serileri maddede yenilendi ve bu darbeler dünya dışından bir gürültü sinyali olarak görüldü. Bu sinyal birkaç isimle çağrılır. Johnson gürültüsü, termal gürültü. Bu gürültü çok geniş alanda bir spektral yoğunluğa sahiptir.

Devrenin ve enstrüman tasarımcısının hedefi işaret-gürültü oranını mümkün olduğunca fazla artırmaktır. Sonunda bir yükseltecin çıkışındaki sezilen minimum sinyal seviyesi gürültü taban seviyesinin üzerinde görülen seviyedir. Bundan dolayı daha düşük sistem gürültü tabanı daha küçük minimum uygun sinyaldir. İşaret-gürültü oranı (S/N), sinyal seviyeleri düşük ve kazançları yüksek diğer yükselteçlerde uygulanabilir bu durum diğer uygulamalardaki gibi iyi, bilimsel medikal ve mühendislik enstrümantasyonda meydana gelir.

2.2. Gürültü Çeşitleri

Pratik yönden bakıldığında elektriksel gürültü 5 grup altında toplanabilir. Bunlar sırasıyla;

- Isıl gürültü
- Schottky gürültüsü
- Artık gürültüsü
- Çığ gürültüsü
- Çoklu durum gürültüsü

2.2.1. Isıl Gürültü

Sistemlerde bulunan iletken elemanların serbest elektronları, ortamın sıcaklığına bağlı olarak istem dışı hareket ederler. Bu istem dışı hareket, sistemin çıkışına bir elektriksel işaret olarak yansır. Bu elektriksel işaret, ilgilenilen faydalı işareti bozucu nitelikte olup ısıl gürültü adını alır.

Isıl gürültü bir iletken içindeki elektronların yaptıkları Brown hareketi ile ilgili bir olaydır. Maddenin kinetik teorisine uygun olarak bir iletkendeki elektronlar moleküllerle ısıl denge içinde ve sürekli olarak rastgele hareket hâlindedir. Bu rastgele hareket maddenin kinetik teorisinin bir doğrulanması olarak görülmektedir. İlk olarak İngiliz botanist Robert Brown bu rastgele hareketin farkına varmıştır.'Brown Gürültüsü' adı da buradan gelmektedir.

Brown maddenin kinetik (hareket eden parçacık) özelliği ile ilgili kanıtı ilk olarak mikroskopta polen tohumlarını incelerken bulmuştur. Brown polen tohumlarının mikroskopta incelemeyi son derece güçleştiren olağan dışı bir kıpırdanma içinde olduklarını fark etmiş daha sonra aynı olayın (yani olağan dışı kıpırdanmanın) havadaki duman parçacıkları içinde geçerli olduğunu görmüştür.

Elektronlarında Brown hareketi yaptıkları ilk olarak 1927 yılında Bell telefon laboratuarlarında çalışan J.B. Johnson tarafından bulunmuştur.1928 yılında gene Bell telefon laboratuarlarında çalışan H.nyquist elektronların Brown hareketini niceliksel teorisini geliştirmiştir. Bir iletken içindeki elektronların ortalama hızlarının karesi mutlak sıcaklığıyla doğru orantılıdır. Ayrıca iletken içindeki bu elektronların her birini bir birim eksi yük taşıdığını da hatırlayalım. Sonuç olarak moleküllerde gerçekleşen herhangi bir çarpışma ile bir diğer çarpışma arasında bu çarpışmaların sonucu olarak meydana gelen her elektron kaçışı (sıçrayışı) kısa bir akım devresi oluşturur. Elektronların hareketleri rastgele ve her yönde olduğu için oluşan doğru akımın ortalama gerilimi 0 V DC'dir. Ancak bu rastgele hareket aynı zamanda bir de AC (Alternatif Akımı) bileşeni oluşturur. Gürültüyü oluşturan bu AC bileşeninin bir çok değişik adı vardır. Isıl gürültü (sıcağa bağlı olduğu için) Brown gürültüsü (Brown hareketini keşfeden kişinin adından dolayı) Johnson gürültüsü (Brown parçacık hareketinin elektronları içinde geçerli olduğunu bulan kişinin adından dolayı) rastgele gürültü (elektron hareketinin yönü tamamen rasgele olduğu için)direnç gürültüsü (gürültü geriliminin büyüklüğü dirence bağlı olduğu için) ve beyaz gürültü rastgele hareketten ötürü AC alternatif akım bileşeni tüm frekansları içerdiği için. Sonuç olarak ısıl gürültü bir iletkende ısıl hareketin yol açtığı serbest elektronların rastgele hareketidir.

2.2.2. Schottky Gürültüsü

Schottky gürültüsü, ayrık taşıyıcıların bir engelden düzensiz olarak geçmesi veya yarı iletkenlerin çalışmalarında olduğu gibi düzensizlikler sonucunda ortaya çıkar. Bu da diyot ve transistörlerin tipik bir özelliğidir. Schottky gürültüsünün temel formülü

$(i_n)^2 = 2qI_{dc}B$ dir.

i_n = Schottky gürültüsü (amper rms olarak)

q = elektron yükü: $1.59x10^{-9}$ coulomb (c)

I_{dc}= diyot doğru akımı (amper)

B = eş değer bant genişliği (hertz)

Tıpkı ısıl gürültüde olduğu gibi, Schottky gürültüsü de, düz bir frekans tayfına ve Gauss genlik dağılımına sahiptir. Bu özellik Schottky gürültüsünün bir eş değer direnç olarak tasarlanmasını mümkün kılar.

2.2.3. Artık Gürültü

Bu gürültüye bazen akım veya yığın ya da (1/f) gürültüsü de denmektedir. Artık gürültü, yarı iletken bir malzemeden akım geçerken ortaya çıkar. Artık gürültü, transistör ve diyotların tipik bir özelliğidir.

2.2.4. Çığ Gürültüsü

Tıpkı Schottky gürültüsü gibi çığ gürültüsü de, bir jonksiyon olayıdır. Şöyle oluşur. Yüksek gerilim gradyanındaki taşıyıcılar, yeterli enerji oluşturup çarpışmaları artırarak, yeni taşıyıcıların meydana gelmesini sağlar. Bu yeni taşıyıcılar da daha yenilerini oluşturur. Söz konusu süreç arkası arkasına devam eder. Taşıyıcı demetlerinin jonksiyondan rastgele geçişleri, çığ gürültüsünü ortaya çıkarır. Belirli bir gerilim sınırından sonra bütün transistör ve diyotlarda bu olaya rastlanmaktadır. Eğer bu, belirlenmiş çalışma sınırları içinde olursa problem oluşur. Çığ gürültüsü Gauss dağılımına sahiptir.

2.2.5. Çoklu Durum Gürültüsü

Çoklu durum gürültüsü, uygulanan akımdaki tanımlı keskin düzey değişmeleri nedeniyle devre elemanında oluşan kararsız değişimlerden kaynaklanır. Zaman zaman transistörlerde görülmekle birlikte daha çok diyotlarda rastlanır. Bu gürültünün nedeni hakkında fazla bir şey bilinmemektedir. Araştırmalar yüzey olgusuyla ilişkili olduğunu göstermektedir.

2.3. Gürültü Kaynaklarının Tespiti

Gürültü kaynakları harici veya dâhili olarak kategorize edilebilir. Dâhili gürültü kaynakları yarı iletken materyal dirençlerdeki termal akımlardan kaynaklanır. Dâhili gürültü bir yükselteç tarafından kaynaklanan gürültü bileşenidir. Bir yükseltecin giriş ve çıkışının her ikisi ölçüldüğünde gürültü veya S/N oranında çıkış daha mükemmelidir. Aletin dâhili gürültüsü çıkış ve giriş gürültü oranları arasında değişir. Harici gürültüde gürültü sinyal kaynağı tarafından üretilir, bu yüzden sıklıkla kaynak gürültüsü olarak adlandırılır. Bu gürültü sinyali, sinyal kaynağındaki termal akımlardan kaynaklanır ve basit bir sıfır-sinyal giriş sınır direncinin bile bir miktar termal gürültüsü vardır.

Gerçekte basitçe sınırlanan gürültü seviyesi bileşeninin yapısından dolayı Vn (Doğal gürültü bir gürültü gerilim kaynağı Vn ile gösterilmiştir.)'den dolayı daha yüksek olabilir. Örneğin bir karbon bileşenli direnç tarafından üretilen gürültü sinyali Vna gibi eklemeli bir gürültü kaynağı modellemesine sahiptir. Bu gürültü üreteci direncin yapısının fonksiyonudur ve imalat hatasıdır. İmalat hataları ve direnç yapısından kaynaklanan Vna gürültü kaynağı. birkaç gerilim ve akım gürültü kaynakları bir opampta var olan bir devre modeli görülmektedir. Bir FET girişli opamp'ta örneğin akım gürültü kaynakları zayıftır fakat gerilim gürültü kaynakları geniştir. Bipolar opamplarda tam zıt durum elde edilir. Gürültü kaynaklarının tümü, birbiri ile ilgisi olan her biri birbiri için uygun değildir. Bu nedenle basit gürültü gerilimleri eklenemez, sadece gürültü gücü eklenebilir.

2.4. Gürültü Ölçerler

2.4.1. Gürültünün Hesaplanması

2.4.1.1. İşaret-Gürültü Oranı

İşaret-gürültü oranı, bilgi işaretindeki gücün gürültü gücüne oranı olarak tanımlanır. Kısa olarak S/N şeklinde gösterilir.

S/N=İşaret gücü/Gürültü gücü=P_S/P_N

Desibel olarak işaret-gürültü oranı,

$S/N=10\log_{10} P_S/P_N$ bağıntısından hesaplanır.

Örnek:
Çıkışta,1.2 mV 'luk işaret ile birlikte 0.514 mV'luk bir gürültü varsa, S/N oranını ve bu oranın desibel olarak değerini hesaplayınız.

Çözüm:
$P=E^2/R$ bağıntısını kullanarak,

$S/N= (1.2^{\,2} / R) / (0.514^{\,2} / R) = 5.45$ veya $10 \log_{10} 5.45 = 7.36$ dB değerleri elde edilir.

2.4.1.2. Gürültü Figürü veya Gürültü Oranı

S/N oranı amplifikatör zincirinin herhangi bir noktasındaki gürültü miktarını ifade etmesi bakımından çok kullanışlı olmasına rağmen, bu bağıntı ile devredeki bir transistörün ilave ettiği gürültü miktarını hesaplamak mümkün değildir. Bu amaçla gürültü figürü (NF) kullanılır.

$NF= 10 \log_{10} (S_İ/N_İ) / (S_O/N_O) =10\log_{10}NR$

Burada, $S_İ/N_İ$ oranı elemanın girişindeki işaret-gürültü oranını ve S_O/N_O ise elemanın çıkışındaki işaret-gürültü oranını ifade etmektedir.

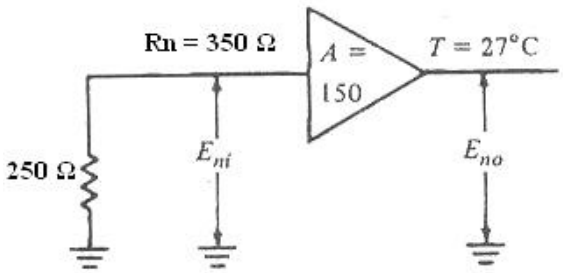
Örnek:
Transistörlü bir amplifikatörün girişindeki S/N oranı 12 ve çıkışındaki ise 5'tir.Transistörün NF veya NR değerini hesaplayınız.

Çözüm:
$NF=10\log_{10} S_İ/N_İ /S_O/N_O =10\log_{10} 12/5 =3.8$ dB
NR=2,4

2.4.1.3. Eş Değer Gürültü Direnci

Bir cihazda oluşan gürültü, genellikle hayali bir dirençle gösterilir ve girişe bağlı gibi değerlendirildiği için cihazın kendisi gürültüsüz kabul edilir. Bu nedenle, bir yükseltecin bir R_i giriş direnci ve bir de girişe referanslanan bir R_n hayali direnci olabilir. Sonuçta oluşan gürültü açısından giriş direnci $R_i + R_n$ olur.

Örnek:
Şekil 2.1'de, oda sıcaklığında bir yükseltecin 8 MHz'lik bir bant genişliği ve 350 Ω'luk bir eş değer Schottky gürültü direnci bulunmaktadır. Gerçek giriş direnci 250 Ω'dur.150'lik bir kazanç varsayarsak, çıkış gürültüsü ne olur?



Şekil 2.1: Örnek soruda kullanılan devre

Not:
R_n : Gürültü direnci
E_{ni} : Gürültü gerilim girişi
E_{no} : Gürültü gerilim çıkışı

Çözüm:
$E_{no} = AE_{ni}$

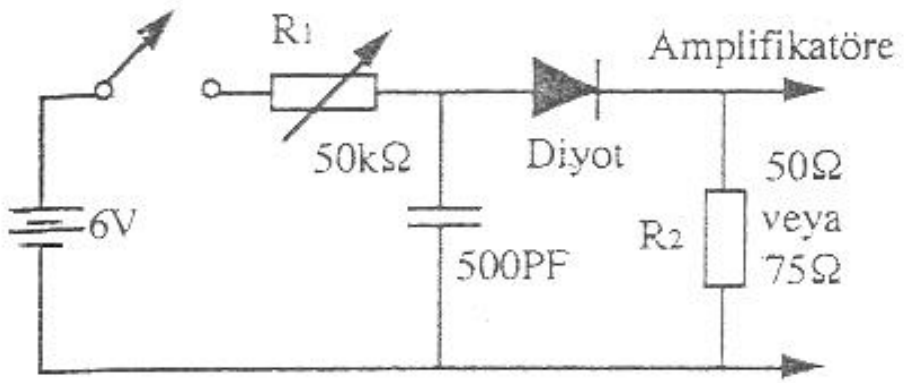
$= 150[(4)(1.38X10^{-23})(273+27)(250+350)(8X10^{6})]^{½}$
$= 1.337mV$

2.4.2. Gürültü Ölçümü ve Teknikleri

Genel olarak gürültü, simetrik sinüzoidal bir işaret değildir. Termal gürültü bütün frekansları içerir ve herhangi bir tepelenme yoktur. Pratikte kullanılan AC voltmetreler ise sinüzoidal işaretin RMS değerini ölçecek şekilde kalibre edilir. Böyle bir voltmetre ile bir üçgen dalga ölçülürse, üçgen dalganın RMS değerini voltmetre göstermez. Voltmetreden okunan değer bir düzeltme faktörü ile çarpılarak üçgen dalganın RMS değeri elde edilir. Termoçiftli veya ısıl ölçü aletleri ise işaretin dalga şeklinden bağımsız olarak gerçek RMS değeri gösterirler. Bu tip aletler ile gürültü seviyesi ölçülebilir. Doğrultuculu galvanometre ile yapılmış AC voltmetre ile ölçülen gürültü, 1.11 faktörü ile çarpılarak gürültünün gerçek RMS değeri elde edilir.

Gürültünün tam olarak ölçümü çok zor ve oldukça kompleks bir işlemdir. Bilgisayar kontrollü, gürültü ölçü cihazları oldukça pahalıdır. Gürültü faktörü, çeşitli biçimlerde ölçülebilir. Uygulanan teknik, genellikle eldeki teçhizata ve ilgilenilen frekans bölgesine bağlıdır. Gürültü konusunda çalışacak kişilerin bu cihazları iyi tanımaları gerekir. İşaret ile gürültünün birbirine eşit olmasına dayanan ölçü metotlarından biri şöyle gerçekleştirilir: Cihazın girişinde herhangi bir işaret yok iken, cihazın bir noktasındaki gürültü seviyesi bir güçmetre ile ölçülür. Bu işlemin akabinde, cihazın girişine bir işaret uygulanarak genlik yavaş yavaş artırılır. Bu şekilde güçmetredeki sapmanın iki katına çıkması sağlanır. Bu durumda giriş işareti ile gürültü aynı seviyededir.

Herhangi bir amplifikatör veya radyo alıcısının gürültü testini yapmak amacı ile Şekil 2.2'deki diyotlu gürültü kaynağı kullanılır. Diyot çıkışı alıcı antene bağlanır.



Şekil 2.2: Diyotlu gürültü kaynağı

2.4.2.1. Diyotlu Gürültü Üreteci ile Gürültü Ölçme Yöntemi

Gürültü ölçmenin diğer bir metodu ise, Şekil 2.2'de gösterilen bir diyotlu gürültü üreteci devresini kullanmaktır. Bu teknikte, gürültü üreteci olarak kullanılan diyot, karakteristik empedansı R_2 olan transmisyon hattı ile yükseltece bağlanmaktadır. Doğrudan bağlanmışsa R_2 direnci amplifikatörün giriş direncidir. Birinci olarak diyotun DC akımı sıfır iken, test edilen amplifikatörün çıkışındaki gürültü gücü ölçülür. Bu işlemi takiben, çıkış gürültü gücü iki katına çıkıncaya kadar R_1 direnci ile DC diyot akımı (I_{dc}) artırılır. Aşağıdaki eşitlik faydalanılarak test edilen devrenin gürültü oranı hesaplanır.

$$NR=20I_{dc}R$$

Burada R direnci; test edilen devrenin giriş direncidir. Oda sıcaklığı olarak 290° K kabul edilecektir.

2.4.2.2. Tanjantlı Gürültü Ölçme Tekniği

Gürültü ölçmek için geliştirilmiş olan cihaz hem çok pahalı, hem de kullanım alanı çok azdır. Çift taramalı bir osiloskop bu amaçla kullanılabilir. Ancak osiloskobu iki sebepten ötürü doğrudan gürültü ölçümünde kullanmak uygun olmaz.

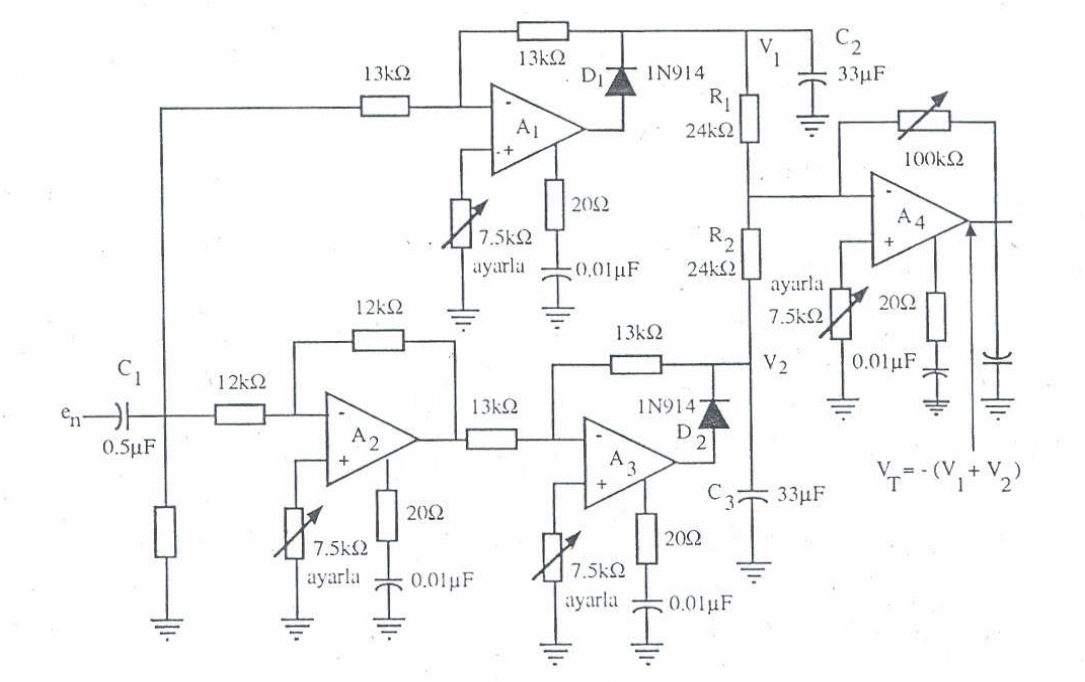
Bunlardan birincisi, gürültü işareti sinüzoidal olmayıp rastgele bir işarettir. Dolayısı ile sinüzoidal işaretlerde olduğu gibi bunun RMS değerini hesaplamak mümkün olmaz. İkinci sebep ise gürültü genlikleri de rastgele ve çok hızlı olduğundan dolayı osiloskop ekranının fosforuna bağlı olarak genlik değişimlerini izlemek oldukça zordur.

Osiloskop ekranındaki gürültü genliği tarama çizgisinin eşik seviyesine bağlı olarak az veya çok olabilir. Bu nedenden ötürü yapılabilecek hata miktarı 6 dB dolayında olabilir. Geliştirilen tanjantlı ölçme tekniği ile bu hata 1 dB'e kadar düşürülebilir. Bu metotta, gürültü işareti osiloskobun her iki kanalına uygulanır. Osiloskop taraması alternate moda alınır. Her iki kanal aynı şekilde kalibre edilir. Tarama çizgileri önce ayrı seviyelere ayarlanır. Kanallardan birinin düşey pozisyonu gürültü genlikleri birbirine temas edinceye kadar ayarlanır. Bu anda girişteki gürültü işaretleri çıkartılır. Tarama çizgileri arasındaki mesafe ölçülür. Bu aralık gürültü işaretinin RMS değerinin iki katına eşittir. Örneğin, osiloskop duyarlılığı 20mV/div ve çizgiler arasındaki mesafe 1 cm ise gürültünün RMS değeri;(1X20)/2=10mV olur.

2.4.2.3. Gürültü Ölçümü Yapan Devre

Şekil 2.3'te gösterilmiş olan devre ile gürültünün tepeden tepeye genliği ölçülür. Bu devre ile %1'ler seviyesinde bir doğrulukla ölçme yapılabilmektedir. Devrede dört tane operasyonel amplifikatör kullanılmıştır.

Devredeki A_1,D_1 diyotu ve C_1 kapasitesi ile V_1 gerilimi olarak e_n gürültüsünün pozitif tepeleri dedekte edilir. A_2 opamp'ı ise e_n gürültü işaretini evirir ve A_3 ile negatif tepeler detekte edilerek V_3 olarak pozitif bir gerilim elde edilir. A_4 opampı ile V_1 ve V_2 toplanır. Toplam V_T gerilimi negatif olup gürültünün tepeden tepeye genliğini ifade eder. Bu devrenin giriş/çıkış oranı yaklaşık sıfırdan 3V'a kadar lineerdir.



Şekil 2.3: Gürültü ölçü cihazının iç yapısı

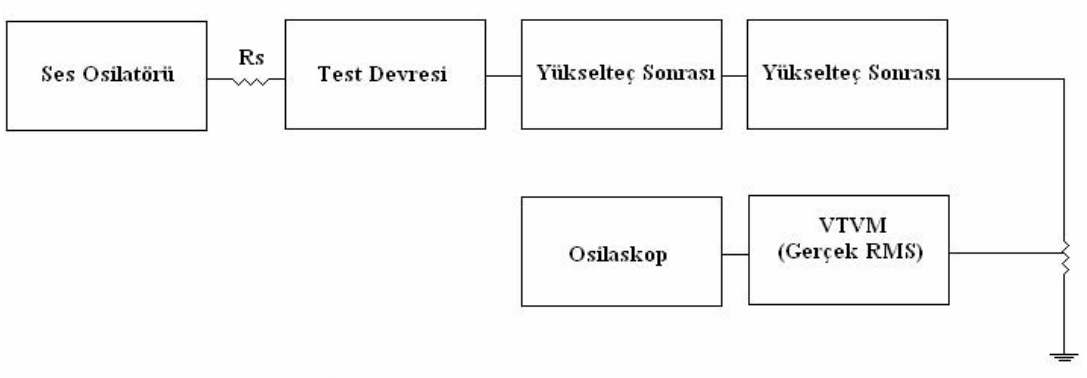
V_1 gerilimi diyotun eşik geriliminin altına düştüğü zaman,D_1 kesime girecek,A_1'in negatif geri besleme çevrimi ortadan kalkacaktır.V_1 gerilimi diyotun eşik geriliminden büyük olduğu zaman, diyot iletimde olacak ve C_2 kapasitesi V_1 gerilimi veya giriş gerilimi ile şarj olacaktır. A_2 de birim kazançlı bir eviren amplifikatördür. A_1 amplifikatörünün e_n giriş işaretinin pozitif genlikleri için yaptığı işlemi, A_2 ve A_3 amplifikatörleri e_n giriş işaretinin negatif genlikleri için yapmaktadır. A_4 toplayıcı amplifikatörün çıkışındaki toplam gerilim,

$V_T = -R_3 (V_1/R_1 + V_2/R_2)$ şeklinde olur.

Eğer, $R_1=R_2=R_3$ seçilirse toplam gerilim giriş gerilimlerinin toplamının ters işaretlisine eşit olur. Bu toplam gerilim AC RMS ölçen bir voltmetreye uygulanarak gürültünün tepeden tepeye genliği ölçülür. Bu devre haberleşme uygulamalarında gürültü ölçmek amacı ile kullanıldığı gibi, DC güç kaynaklarının tepe dalgalanmalarını ve çıkışlarındaki gürültüyü ölçmek amacı ile de kullanılır.

2.4.2.4. Sinyal Kaynağı Kullanarak Alçak Frekans Gürültü Ölçümleri

Bu metot, alçak frekanslarda gürültü faktörünü ölçme yöntemlerinin en basitidir. Test düzeni Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4: Alçak frekans gürültü faktörü ölçümleri test düzeni sinyal kaynağı

Test, girişteki sinyal gürültü oranını sabit tutarak çıkıştaki sinyal/gürültü oranını ölçmekle yapılır. $F=(S/N)_i / (S/N)_o$ eşitliğinden gürültü faktörü;

$F\ (dB) = 20 \log_{10} E_{si} / E_{ni} – 20 \log_{10} E_{so} / E_{no}$ olarak elde edilir.

E_{si} = sinyal giriş gerilimi
E_{ni} = gürültü giriş gerilimi
E_{so} = sinyal çıkış gerilimi
E_{no} = gürültü çıkış gerilimi

RS kaynak direnci bilindiği takdirde, $(En)^{½}$ = 4kTBR eşitliğinden Eni giriş gürültü gerilimi hesaplanabilir. Daha sonra Eni sinyal gerilimi, sinyal/gürültü oranı 20 dB gibi uygun bir orana gelecek şekilde ayarlanır. Sonuçta F (dB) = 20 log10 Esi / Eni – 20 log10 Eso / Eno eşitliği:

$F\ (dB) = 20\ dB - 20 \log_{10} E_{so} / E_{no}$ şekline girer.

Yapılacak işlem şöyledir. Önce, giriş gerilimi sinyal/gürültü oranını 20 dB'ye ayar ediniz. Daha sonra da değişken zayıflatıcıyı, E_{so}'nun voltmetredeki göstergesi tam ölçek olacak şekilde ayarlayınız. Arkadan, giriş sinyalini sıfıra indirip, çıkış gerilimini okuyunuz. Sinyalsiz çıkış gerilimi E_{no} olduğundan, desibel olarak okunan çıkış, E_{so} / E_{no} oranını gösterir.

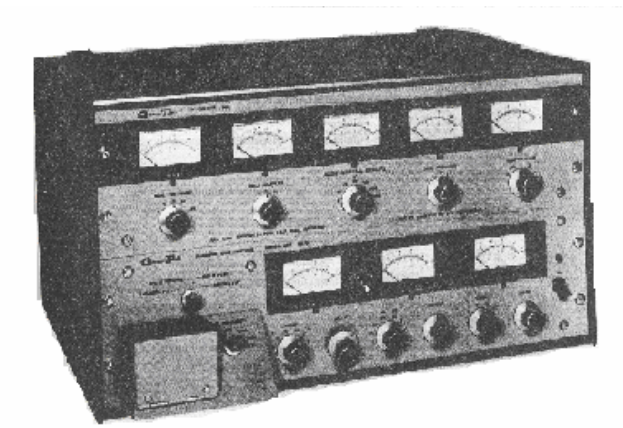
F (dB) = 20 dB -20 log10 Eso / Eno eşitliğine bu oranı koyarak, gürültü faktörünü hesaplayınız. Ölçülen çıkış sinyalinin Eno değerini de içerdiğini biliniz. Ölçülen gerçek sinyal ise, $[(Eso)2 + (Eno)2]^{½}$ olur. Bu, ölçülen gürültü faktörünün hata içermesiyle sonuçlanır. Giriş (sinyal/gürültü) oranının 20 dB olması hâlinde,10 dB'ye kadar gürültü sinyali bulunan bir eleman için, bu hata 0,5 dB'den daha azdır.

2.4.2.5. Alçak Frekans Gürültü Faktörü Ölçümleri için Sabit Kazanç Metodu

Bu metot, bilinen sabit bir gerilim kazancını sağlayarak E_{no} çıkış gürültü gerilimi ölçmeye dayanır. $F=N_o/GN_i$ eşitliği gerilim açısından

$$F=(E_{no})^2 / (E_{ni})^2 (G_v)^2$$

şeklinde ifade edilir. Burada G_v gerilim kazancını göstermektedir. Bu prensibin kullanıldığı ticari bir alet, 2173C–2181 modeli Quan-Tech gürültü analizörüdür (Resim 2.1). Bu alet eş zamanlı olarak 5 frekansta gürültü ölçer ve alçak frekans gürültü ölçümlerinde bir endüstri standardıdır.



Resim 2.1: 2173C-2181 modeli Quan-Tech gürültü analizörü

2.4.2.6. Yüksek Frekans Gürültü Ölçümlerinde Çıkış-Katlama Metodu

Yüksek frekans gürültü ölçümlerindeki en basit yöntemlerden birisi de, gürültü katlama metodur. Bu metot, çıkıştaki gürültü gücü ikiye katlanana kadar, gürültü kaynağı çıkışını artırmaya dayanır. Şekil 2.5'te, tipik bir test düzeneği görülmektedir.

Şekil 2.5: Test düzeneği

Çok sık kullanılan gürültü kaynağı, doygun termoiyonik diyotudur. Bu tungsten flamanlı bir vakum diyotu olup, anot akımı flaman sıcaklığına bağlı olarak çalıştırılır. Bu şekilde çalıştırıldığında, flamandan gürültü çıkışında "uzay yükü düzlemesi" bulunmaz ve mevcut gürültü ise elektron emisyonunun rastlantısal özelliğinden ileri gelmektedir (schottky gürültüsü).Gürültü kaynağının meydana getirdiği gürültü gücü, test yapılan devrenin oluşturduğu gürültüye eşit olduğunda, aşağıdaki ilişki geçerli olur:

$P_{no} = GP_{ng}$
P_{no} = kaynak ve elemandan çıkan gürültü gücü
G = güç kazancı
P_{ng} = gürültü kaynağı çıkış gücü

$P_{no} = GP_{ng}$ eşitliği, $F=N_o/GN_i$ eşitlikte yerine koyacak olursak, gürültü faktörü için

$F= GP_{ng} / GN_i = P_{ng} / P_{ni}$ elde ederiz.

Hem P_{ng} hem de P_{ni}'nin gerçek değerleri, test yapılan elemanın, kaynak direnci ile giriş empedansının fonksiyonlarıdır. $F= GP_{ng} / GN_i = P_{ng} / P_{ni}$ eşitliğindeki güç terimleri, elde edebilecek güç olarak da tanımlanabilir. Yani

$F=qI_{dc}R_g / 2kT$ olur.

Kaynak sıcaklığının 290° K ve $R_g = 50$ olduğunu kabul edersek, bu eşitlik

$F=I_{dc}$ mA şekline dönüşür.

Gürültü çıkış gücünü ikiye katlamak için kullanılan asıl yöntem, test devresi çıkışına bir RF voltmetresi bağladıktan sonra çıkış güç noktasının ikiye katlanmasını tespit etmekten fazlasını içerir. Önce gürültü güç düzeyleri çok düşüktür ve bu düzeyleri RF voltmetresini ölçüm yapabileceği alt sınıra yükseltmek için bir son kat yükseltecine ihtiyaç vardır. Ayrıca, darbant gürültüsünün istenmesi hâlinde, bu güç yükseltecinin bant genişliği test yükseltecinden bant genişliğinden daha az olmalı ve karşılaşılacak sinyal düzeyleri için de, aşırı yüklü olmalıdır. Üçüncü olarak da, kullanılan asıl voltmetre doğrusal olmalı ve RMS gerilimini göstermelidir.

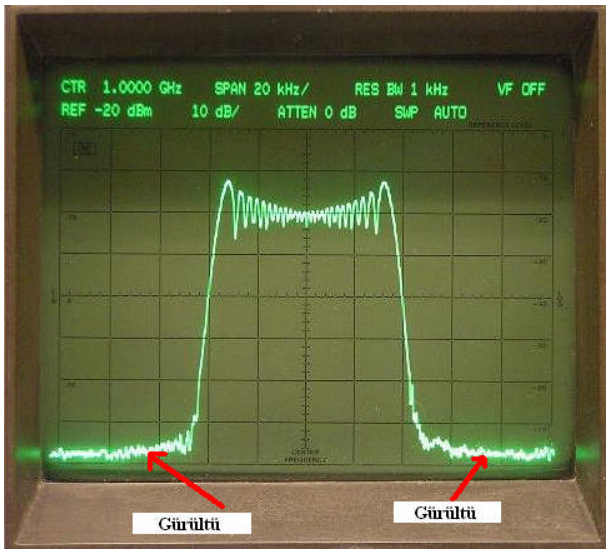
$F=F_1 + (F_2–1)/G_1 + (F_3-1)/(G_1G_2)+ ...+(F_N-1)/(G_1G_2...G_{N-1})$

Burada

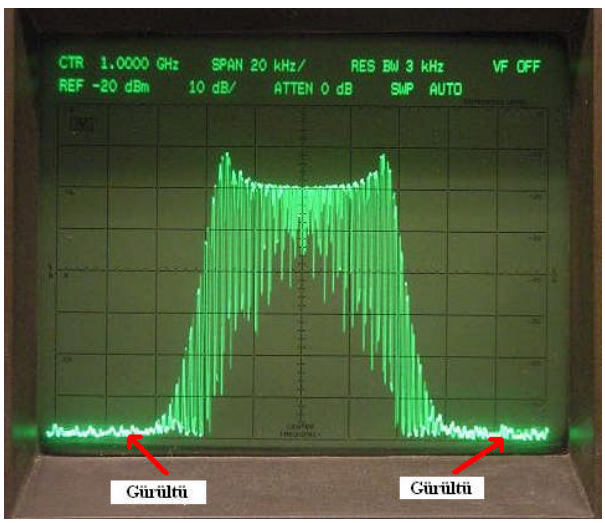
F=Toplam gürültü faktörü(güç oranı)
F_1=Birinci kademenin gürültü faktörü(güç oranı)
F_2=İkinci kademenin gürültü faktörü(güç oranı)
F_3=Üçüncü kademenin gürültü faktörü(güç oranı)
G_1= Birinci kademenin güç kazancı (oran)
G_2= İkinci kademenin güç kazancı (oran)

2.5. Gürültünün Spektrum Analizörü ile Ayırt Edilmesi

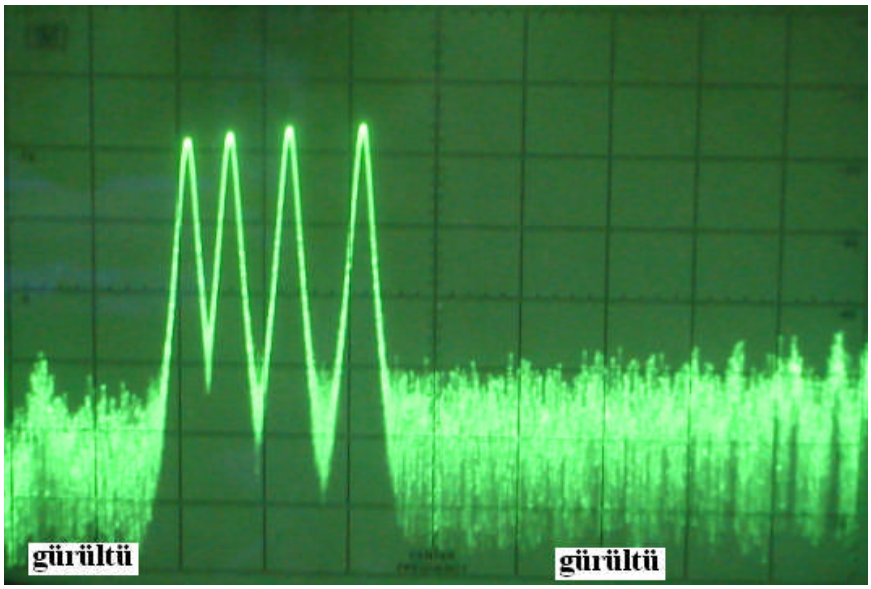
Çevresel gürültü içinde, elektriksel gürültü çok önemli bir değerlendirmedir. Biyomedikal cihazların standartlara uygun ortamlarda çalışabilmesi bu gürültünün tolere edilebilir limitlere indirilmesini de gerektirir. .Tabi ki Bu gürültünün tanınması nedenlerinin anlaşılması ve gürültü kaynaklarının çözümlenmesinde de önemlidir. Bu gürültünün tespiti için en yaygın kullanılan cihaz spektrum analizördür. Resim 2.2 ve Resim 2.3'te yüksek frekanslı bir sinyaldeki gürültü gösterilmektedir. Resim 2.2'de bant genişliği 1kHz, Resim 2.3'te ise bant genişliği 3 kHz'dir. Resim 2.4'te ise span 1MHz, Res BW 100kHz ve frekansı 10MHz'lik gürültülü bir sinyal gösterilmektedir.



Resim 2.2: Bant genişliği 1 kHz yüksek frekanslı sinyaldeki gürültü



Resim 2.3: Bant genişliği 3 kHz yüksek frekanslı sinyaldeki gürültü



Resim 2.4: Span:1MHz, Res BW:100kHz ve frekansı 10MHz'lik gürültülü bir sinyal

2.6. Biyomedikal Sistemlerde Gürültü Azaltma Yöntemleri

Biyomedikal sistemlerde algılanan işaretin değerlendirilebilmesi ve yorumlanabilmesi için işaretlerin birtakım işlemlerden geçmesi gerekir. Bu işlemler dizisinin genel adına işaret işleme adı verilir. Biyolojik işaretler küçük genlikli olup ayrıca insan vücudu gibi çeşitli işaret kaynaklarına sahip ve büyük hacimli gürültülü bir ortamdan alınmaları nedeniyle işaretler gürültülüdür. Biyolojik işaretlerin anlaşılabilir bir hale getirilebilmesi için çeşitli işlemlerden geçirilip gürültüden arındırılması gereklidir. Bunun için işaretin özelliğine göre çeşitli filtreleme işlemleri yapılır.

İşaret işleme dizisinde öncelikle işaretlerin algılanması sırasında dönüştürücüler kullanılır. Kullanılacak dönüştürücülerin hastaya zarar vermemesi için dolaylı yöntemler kullanılırsa işaretlerin algılaması zayıf olmakta ve işaretlere daha fazla gürültü karışmaktadır. Bunun sonucunda da daha ileri seviye işaret işleme yöntemleri kullanılması gerekmektedir. İşaretlere gürültünün karışması istenmediğinden dolayı öncelikle gürültüsü fazla olmayan Ag-AgCl elektrotları tercih edilmelidir. Daha sonra dikkat edilmesi gerekli hususlar sırasıyla şunlardır:

Elektrotlar ve elektrotların temas edeceği deri yüzeyi çok temiz olmalı, hastanın bulunduğu ortam gürültü kaynaklarından arındırılmalı, hasta için ekranlanmış ve yalıtılmış özel odalar kullanılmalı böyle bir ortam oluşturulamıyorsa elektrik ve magnetik alan oluşturan kaynaklar ekranlanmalı, hastanın sakin olması sağlanmalı ve elektrotların hareket etmemesi sağlanmalı(gürültü oluşturmaması için),elektrodların kabloları ekranlanmış olmalı hasta özel olarak şebeke toprağından yalıtılmış olmalı, bağlantı kablosu kısa tutulmalı ve magnetik alan kuplajına imkân tanıyacak kablolar arası halka oluşumuna engel olunmalı, geniş yüzeyli elektrotlar kullanılmalıdır.

Dönüştürücülerden sonra gelen işlemler dizisinde ise ön kuvvetlendirme yapılır. İşaret algılama kısmında gürültü karışmaması için alınan tedbirlerin dışında ön kuvvetlendirmede de gürültüye karşı bazı önlemler alınmalıdır. Bunun için de kuvvetlendiricinin bazı özelliklere sahip olması gerekir.

- Kuvvetlendiricinin giriş direnci, biyolojik işaretin algılandığı frekans spektrumu içinde, kaynak direncinin en az 1000 katı büyüklüğünde olmalıdır. Bu nedenden ötürü biyopotansiyel kuvvetlendirici giriş katları genelde izleyici olarak tasarlanmaktadır.
- Fark kuvvetlendiricisi yardımıyla aynı fazdaki bozucu gerilimlerin bastırılıp etkisiz hâle getirilebilmeleri için, giriş katlarında, ortak işaret bastırma oranı (CMRR) 50 Hz'de 100dB'nin üzerinde olan enstrumantasyon kuvvetlendiriciler kullanılmalıdır.
- Gürültü kuplajını önleyebilmek için giriş katları çok iyi bir şekilde ekranlanmalıdır. Ayrıca giriş katlarının topraklamalarına özen gösterilmelidir.
- Giriş katlarındaki küçük ofset(dengesizlik) gerilim kaymaları, biyopotansiyel kuvvetlendiricilerin yüksek kazançlı olmalarından dolayı çıkışta büyük gerilim değişimlerine neden olacaktır. Bunun içinde giriş katlarında dengesizlik (kayma, ofset) gerilimleri ve ofset kaymaları küçük olan kuvvetlendiriciler kullanılmalıdır.
- Giriş katlarında, gürültü akımı ve gerilimi az olan kuvvetlendiriciler kullanılmalıdır. Gürültü gerilimi değeri (f=10Hz için) 10 nV/ √Hz ile; gürültü akımı da maksimum 1pA√Hz ile sınırlı kalabilen fark kuvvetlendiricileri tercih edilmelidir. Ayrıca, özellikle kazancı etkileyen pasif elemanlar (direnç ve kondansatörler) da gürültüsü az olan elemanlar olarak seçilmelidir.
- Mümkün ise girişlerde direkt kuplaj (doğru gerilim kuplajı) bulundurulmalıdır.
- Ön kuvvetlendiricinin giriş kutuplama akımı 10pA'in altında olmalıdır.
- Kuvvetlendirici elemanların, besleme kaynağına bağlanan bacaklarının hemen yakınında köprüleme(dekuplaj, "bypass") kondansatörleri kullanılmalıdır.
- Giriş katı fark kuvvetlendiricisi biçiminde tasarlanmışsa, işaret kaynağı ile kuvvetlendiricinin girişleri arasında bulunan empedansların birbirinin aynısı olmasına dikkat edilmelidir. Bu nedenden dolayı kuvvetlendirici girişlerinde genel olarak bulunan elektrotlar birbirinin aynısı olmalıdır. Bu olmadığında, kuvvetlendirici girişinde gözüken ve işarete göre büyük genlikli olan ortak mod işaretleri, kuvvetlendirici giriş empedanslarının da çok büyük olmadığı durumda, girişlere seri gelen farklı empedanslarda farklı gerilim düşümlerine neden olur. Sonuçta da kuvvetlendirici girişinde bir fark gürültü bileşeninin ortaya çıkmasına neden olur.

Bunların yanında, giriş katlarında hasta izolasyonu sağlanmalı ve bu iş için geliştirilmiş izolasyon kuvvetlendiricileri kullanılmalıdır. İzolasyon kuvvetlendiricileri, hasta ile şebeke arasında en az 10 G ohm'luk bir izolasyona sahip olmalı ve tepe değeri 2KV olan 10ms süreli gerilimlere karşı da izolasyon sağlayabilmelidir. Bu özellikleri yanında, izolasyon kuvvetlendiricilerinin lineerlikleri de iyi olmalıdır.

Ön kuvvetlendirme işleminden sonra sıra süzme ve ön işaret işlemeye gelir. Bu kısımda da biyolojik işaretlere karışan belli başlı gürültü kaynakları vardır. Bunlar, elektrodun hareket gürültüsü (elektrodun hareketine neden olan ve hastanın vücut hareketiyle nefes alıp vermesi sırasındaki hareketten doğan gürültü) ile diğer biyolojik kaynaklardan karışan gürültü, 50Hz şebeke gürültüsü, elektronik elemanların iç gürültüsü, magnetik veya elektrostatik alçak veya yüksek frekanslı harici kaynaklardan karışan gürültü, elektronik elemanların nonlineerlik gürültüsü ve sayısal kısımda ise kuvantalama gürültüsü olarak sıralanabilmektedir.

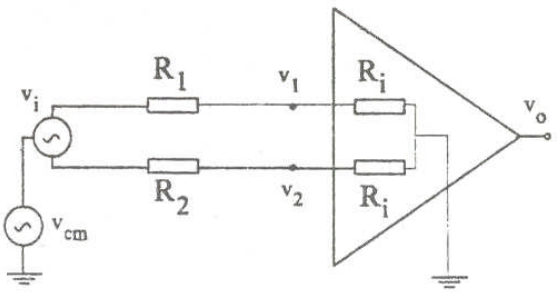
Bu gürültüleri devre bazında bastırmak için kullanılan filtreler, işaretin geçmesine imkân verecek ve gürültüyü bastıracak bant genişliğine sahip olacak şekilde, bant geçiren filtre olarak tasarlanır.

Bundan sonraki işlemler sırasında analog işaretin sayısal işarete dönüştürülmesi işlemi yapılır. Daha sonra sayısal süzme adını verdiğimiz kısımda vücuttan alınan ve kuvvetlendirilen biyolojik işaretler genelde analog işaret işleme ünitelerinden geçtikten sonra bile fark edilebilir düzeyde gürültü bileşenini üzerinde taşıyabilir. Buraya kadar taşınabilen gürültüler bu katta uygun sayısal filtreler yardımıyla biraz daha bastırılabilmektedir. Alçak geçiren, yüksek geçiren veya bant geçiren özellikte birçok filtreleme yöntemi ve bunun dışında da özel filtreleme yöntemleri bu katta kullanılarak gürültü daha da bastırılır. Buradaki bir dizi filtrelemeden sonra işaret işlemeye devam edilir. Bu işlemler sırasında artık gürültü mümkün olduğu kadar bastırılmıştır.

Gürültünün biyolojik işaretlere karışmaması için ön kuvvetlendiricinin bazı özelliklere sahip olması gerektiğini yukarıda açıklamıştık. Ön kuvvetlendiricilerde gürültü azaltma yöntemlerinden bazıları aşağıda şekillerle daha ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

- **CMRR:** Fizyolojik işaretlerin kuvvetlendirilmesinde kullanılan fark kuvvetlendiricilerinde önemli bir sorun ortak modda gelen giriş işaretlerinin bastırılmasıdır. Fizyolojik işaretler düşük genlikli işaretlerdir. Birkaç yüz mV'luk ortak mod işaretlerinin küçük genlikli giriş işaretleri (fizyolojik işaret) ile birlikte fark kuvvetlendirici girişlerine gelmesi, fark işaretlerinin ortak mod işaretlerinden ayrılmasının önemini vurgular. Ortak modda gelen temel işaretler 50Hz şebeke frekanslı olanlardır. Bu nedenle biyopotansiyel kuvvetlendirici giriş katlarında Ortak İşaret Bastırma Oranı(CMRR) büyük olan fark kuvvetlendiricileri kullanılır. Böylelikle gürültü şeklindeki ortak mod işaretleri, daha zayıf olarak kuvvetlendirici çıkışında gözükecektir. İyi bir fark kuvvetlendiricisinde CMRR,100dB'in üzerindedir.
- **Giriş empedansının dengesi:** Şekil 2.6'da, temsili olarak giriş katında bulunan bir fark kuvvetlendiricisi, ortak mod gerilimi (vcm) ve girişlere seri olarak bulunduğu varsayılan dirençlerle beraber gösterilmektedir. Bu modelde girişe seri olan dirençler ile kuvvetlendirici giriş direnci durumunda olan dirençler, kuvvetlendirici girişinde bir köprü devresi oluşturmaktadır. Ortak mod gerilimi, girişlere seri bulunan dirençlerle kuvvetlendiricinin giriş dirençleri arasında bölüneceğinden kuvvetlendirici girişinde,
  $v_i = v_1 - v_2 = v_{cm} [(R_i/R_1+R_i)-(R_i/R_i+R_2)]$ fark gerilimi oluşacaktır.

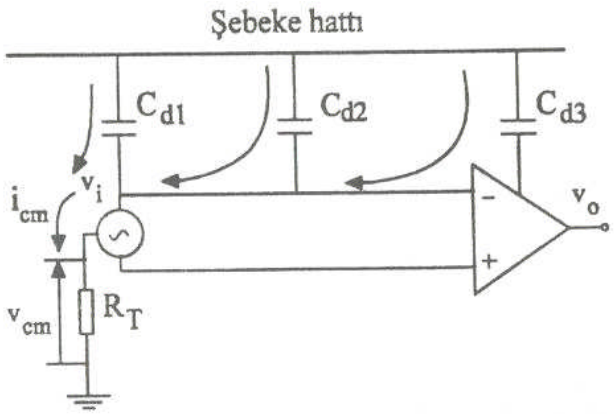
Yüksek kazançlı fark kuvvetlendiricisi de bu gürültü bileşenini kuvvetlendirecektir. Bu gürültü bileşenini etkisiz kılmak için ise girişteki seri dirençlerin eşit (R_1=R_2) yapılması gerekir.



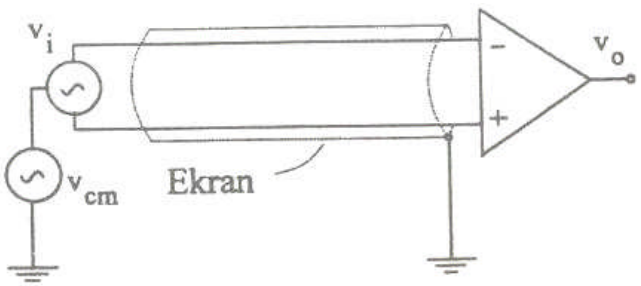
Şekil 2.6: Kuvvetlendirici girişine seri dirençlerin dengesizlik etkisi

- **Kuvvetlendirici giriş empedansı:** Şekil 2.6'daki modelde, kuvvetlendirici giriş empedanslarının girişe seri dirençler yanında çok büyük (Ri >>R1) olması durumunda, (R1=R2) şartına gerek kalmadan, ortak mod şeklindeki giriş gerilimi, çıkışa ulaşamayacaktır. Ri' nin R1 'den çok büyük olması ya da R1'in Ri yanında çok küçük tutulmasını gerektirir.

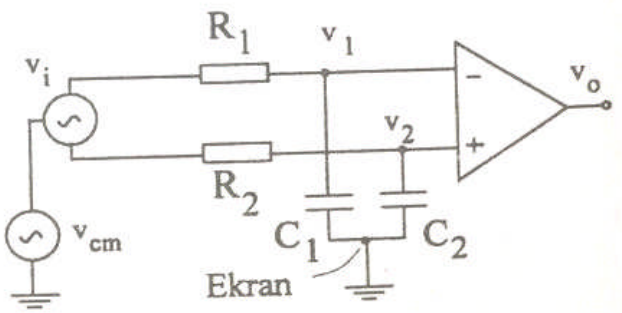
- **Ekranlama:** Şekil 2.6'da gösterilen modelde, kuvvetlendiriciyle kaynak arasındaki kabloların uzun olması durumunda, toprağa olan kablo kaçak kapasiteleri de etkili olacaktır. Bu etki, kuvvetlendirici girişleriyle toprak arasında temsili kaçak kapasiteleriyle gösterilebilecektir. Kabloların ekransız olması durumunda ise, kablolar her çeşit harici gürültü kaynağına karşı etkilenmeye açık durumda bulunacaktır. Bu durum, modelde gürültü kaynaklarıyla kuvvetlendirici girişleri arasında başka kaçak kapasitelerin de temsili olarak gösterilmesine neden olacaktır. Şekil 2.7'de, harici elektrik alanının kaynağa, kuvvetlendiriciye ve kabloya olan kapasitif kuplajı, temsili olarak gösterilmektedir. Gerek bu şekildeki elektrot kablosuna veya bağlantı kablosuna olan elektrik alan kuplajını engellemek ve gerekse kablo-toprak arasındaki kaçak kapasitelerinin kuvvetlendirici giriş empedans dengesini bozmasının önüne geçmek için kabloların ekranlanması gerekecektir. Elektrik alanına karşı kullanıldığı durumda, elektrik alanının etkisi altında kalan ekranın, gürültülü işaret taşıyan bir kaynak durumunda olmasını engellemek için de topraklanması gerekli olur. Toprağa kaçak kapasitelerinin etkileri dikkate alınarak kullanıldığında ise ekran, kaçak kapasitelerinin belirli değerlerde kalmasını sağlayan bir unsur olmaktadır. Şekil 2.8'de bağlantı kablosu devrede, kablolarla ekran arasındaki kapasiteler, kablo iletkenlerinin ekrana karşı konumları, kablo hareket etse bile, bozulmayacağından, bu şekilde, kaçak kapasiteler kararlı ve muhtemelen de eşit olmuş ve daha önceki maddelerde anlatılan giriş empedans dengesi de korunmuş olacaktır.



Şekil 2.7: Şebeke hattından olan kapasitif kuplajın etkileri



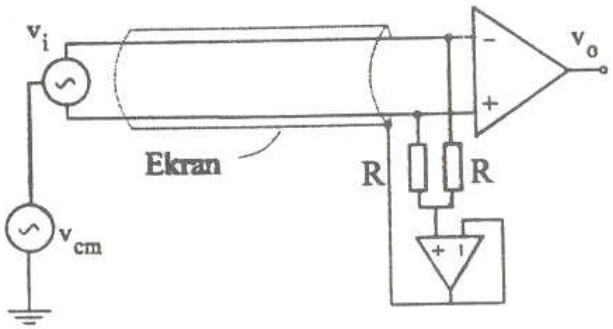
Şekil 2.8 (a): Bağlantı kablolarının ekranlanması



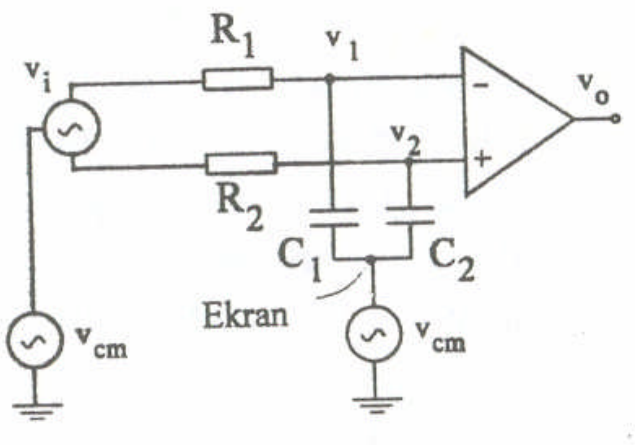
Şekil 2.8 (b): Eş değer devre modeli

Şekil 2.8'deki eş değer devredeki R ve C'ler arasında $R_1=R_2$ ve $C_1=C_2$ eşitliklerinin olmaması hâlinde devrenin fark girişleri arasında, $v_i = v_1-v_2 = v_{cm}[(R_i/R_1+R_i)-(R_i/R_i+R_2)]$ eşitliğine benzer olarak ifade edilebilen ve v_{cm} ortak mod işaretinden kaynaklanan bir fark işareti daha oluşacaktır. Devrenin CMRR'si çok büyük olsa bile, devredeki dengesizliğin oluşturacağı istenmeyen bu farksal giriş işareti, gerçekte alınmak istenen v_i fark işaretinden ayırt edilemeyecektir.

Giriş işaretinin ortak moddaki işaretin bozucu etkisinden korunması amacı ile daha detaylı önlemler alınması gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan, ekran sürücülü bir devre yapısı Şekil 2.9'da gösterilmektedir. Bu devre yapısında, kuvvetlendiricinin + ve – girişlerinde ortak olarak bulunan ortak mod işareti, birbirine eşit R dirençlerinden oluşmuş ortalama alma devresinden elde edilerek bir izleyici (ortak mod sürücüsü) yardımıyla ekrana uygulanır. Bu şekilde, RC empedans gruplarının giriş ve çıkış uçlarında v_{cm} ortak mod işaretinin, bu empedanslar üzerinden bölünerek girişte fark gürültü gerilimini oluşturması engellenmiş olacaktır. Girişte işaret zayıflamasına neden olmaması için ($R \geq 1M\Omega$) olmalıdır.

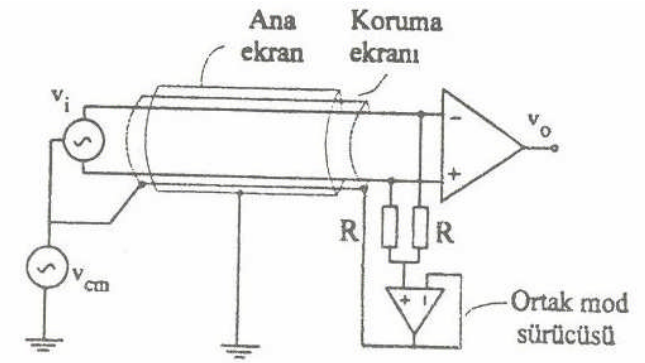


Şekil 2.9(a): Ekran sürücülü ekranlama devresi



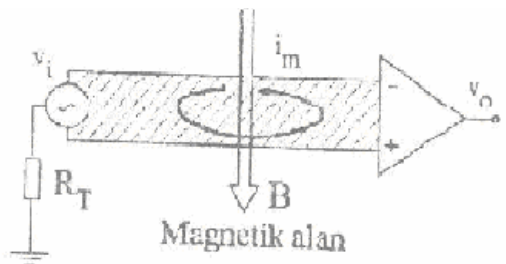
Şekil 2.9 (b): Eş değer devre modeli

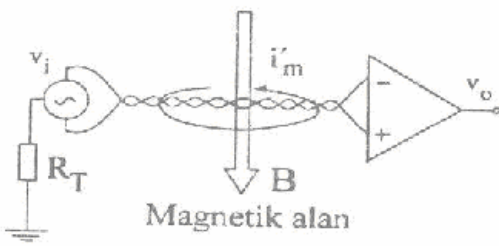
Bazı durumlarda, Şekil 2.9'da anlatılan ekranı, harici elektrik alan etkilerinden de korumak amacıyla ikinci bir ekran (ana ekran) yardımıyla ekranlamak ve bu ekranı da topraklamak gerekir. Şekil 2.10'da, böyle bir ekranlama devresi yapısı gösterilmektedir. Bu yöntemde, biyoelektrik işaret kuvvetlendiricisinin giriş uçları ekranlanmıştır. İçerdeki birinci ekrana, koruma ekranı adı verilir. Bunun üzerinde ise, özellikle ortak moddaki işaretleri azaltan ana ekran bulunmaktadır. Ana Ekran topraklanmaktadır.



Şekil 2.10: Koruma ekranlı devre

- **Magnetik alan:** Kaynak ve kuvvetlendirici arasındaki bağlantı kablosu, ortamdaki magnetik alanın halkalayacağı şekilde bir döngü oluşturuyorsa bu döngüde ortak bir mod akımı meydana gelir. Döngüde akan im ortak mod akımı, kuvvetlendirici girişinde bir fark işareti meydana getirerek bir gürültü geriliminin oluşmasına neden olur. Bu gürültüden kurtulmak için, önlem olarak, Şekil 2.11'de gösterildiği gibi, kablolar birbirine burularak magnetik alanın göreceği alan daraltılmalıdır. Devre girişlerinde magnetik alan ekranlanması yapılacak ise magnetik geçirgenliği çok yüksek malzemeler, örneğin trafo sacı tercih edilmelidir.

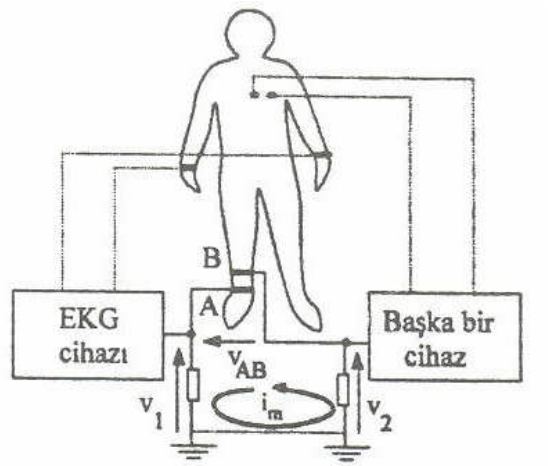




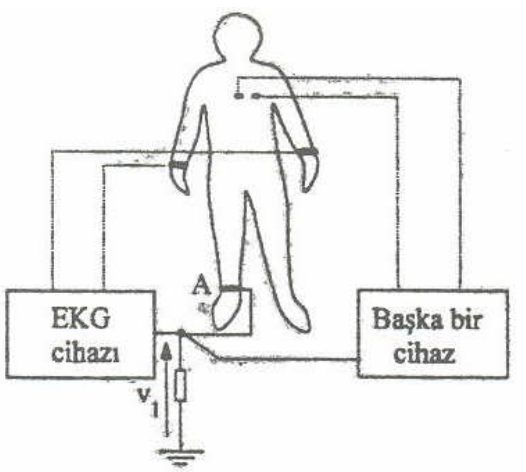
Şekil 2.11 (a): Kablolar çevrim oluşturuyor. **Şekil 2.11 (b): Burulmuş durumda iken magnetik alanın etkisi**

- **Elektrik alanı:** Şekil 2.7'de gösterilen elektrik alan kuplajını engellemek için bağlantı kablolarını ekranlamak gerekecektir. Devre elemanlarını ekranlamak için ise iletkenliği yüksek olan malzemeler, ucuz olması nedeniyle bakır levhalar, tercih edilmelidir. Şebeke kaynağından, kaçak kapasiteler üzerinden gelen kaçak akımlar, kaynak tarafındaki RT topraklama direnci üzerinde bir vcm ortak mod işareti oluşturacaklardır. RT direnci küçük seçildiği takdirde, bu ortak mod gerilimi de küçük olacaktır. Ancak bu direncin değeri fazla küçük seçilemeyecektir. Bunun nedeni elektriksel emniyet açısından bir kaza durumunda hasta üzerine gelecek yüksek gerilimin, bu direnç üzerinden ve dolayısıyla toprakladığı hasta üzerinden akıtacağı akımın, hasta için tehlikeli olabilecek değerlere çıkmasını engellemektir. Bunun yerine, hastanın emniyetli şekilde küçük dirençle topraklanmasını sağlayan sağ bacak sürücüsü devresi kullanma yoluna gidilmektedir.

- **Toprak çevrimleri**: Hastaya, teşhis ve tedavi sırasında birden fazla tıbbi cihaz bağlanmış olabilir. Bunlardan biri elektrokardiyografi cihazı, diğeri örneğin bir basınç ölçüm düzeni olabilir. Hastaya bağlı cihazlar iki farklı şekilde topraklanır. Bunlardan birincisi cihazların güç kabloları üzerinden şebeke hattıyla birlikte gelen toprak noktasına bağlantısının yapılması ikincisi de cihazların ayrı bir kablo üzerinden civarda bulunan bir toprak bağlantısına bağlanmasıdır. Bu topraklama sırasında, Şekil 2.12'de gösterildiği gibi bir toprak çevriminin nasıl oluştuğunu inceleyelim. Her iki cihazın toprak elekrotları, Şekil 2.12 (a)'da gösterildiği gibi hastaya bağlanmış ve bu elektrotlar, oda içerisindeki farklı topraklar üzerinden topraklanmış olsun. Eğer B toprağının gerilimi, A'nınkinden biraz fazla ise hasta üzerinden bir akım akacaktır. Bu akım, elektriksel emniyet bakımından hasta için tehlikeli boyutlarda olabilmekte ve hasta üzerinde vAB ortak mod potansiyelini ortaya çıkarabilmektedir. Akımın aktığı yola toprak çevrimi adı verilir. Bu çevrime, bir magnetik akım kuple olacak olursa, ortak mod gerilimi daha büyük değerlere çıkabilecektir. Ayrıca, cihazlardan birinin toprak hattı koptuğunda, o cihazın toprak akımı, diğer cihazın toprak hattından ve dolayısıyla hasta üzerinden akacağından tehlike daha da büyüyecektir. Bunun için çevrimin ortadan kaldırılması gereklidir. Şekil 2.12(b)'de çevrimin nasıl yok edildiği gösterilmiştir. Cihazlardan birinin toprağı, diğerinin topraklama noktasına bağlanarak tek toprak kullanılacak olursa bu sorunlar ortadan kalkacaktır.



Şekil 2.12 (a): Toprak çevriminin oluşması



Şekil 2.12 (b): Tek nokta topraklaması

UYGULAMA FAALİYETİ

Ortamdaki mevcut elektriksel gürültülerin sinyallerini spektrum analizi ile tespit etmek.

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
➢ Cihazın sıfır ayarını yapınız. ➢ Endüstriyel gürültü kaynaklarından kaynaklanan (cep telefonu ve manyetolu çakmak vb.) gürültüleri tespit için probları takınız. ➢ Gürültü oluşturmadan(cep telefonu veya çakmağı çalıştırmadan) önce ortam sinyallerini gözlemleyiniz. ➢ Çalıştırdıktan sonra ortam sinyallerini gözlemleyiniz. ➢ Bu işlemi ortamdaki değişik noktalarda tekrarlayınız. ➢ Sonuçları karşılaştırınız.	➢ Cihaz ile ölçüm yapılmadan önce spektrum analizörün sıfır ayarını yapınız. ➢ Ölçümlerde hassas prob kullanınız. ➢ Yapılan ölçümleri bir yere not ediniz.

PERFORMANS DEĞERLENDİRME

Aşağıda hazırlanan değerlendirme ölçeğine göre yaptığınız çalışmayı değerlendiriniz. Gerçekleşme düzeyine göre "Evet / Hayır" seçeneklerinden uygun olan kutucuğu işaretleyiniz.

KONTROL LİSTESİ

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
1. Cihazın sıfır ayarını yaptınız mı?		
2. Spektrum analizörün problarını taktınız mı?		
3. Gürültü kaynaklarını tespit ettiniz mi?		
4. Gürültü kaynakları çalıştırılmadan ölçümler yaptınız mı?		
5. Gürültü kaynakları çalışır iken ölçümler yaptınız mı?		
6. Ölçümleri değişik noktalarda tekrarladınız mı?		

DEĞERLENDİRME

Uygulama faaliyetinde yapmış olduğunuz çalışmayı kontrol listesine göre değerlendiriniz.

Yapmış olduğunuz değerlendirme sonunda eksiğiniz varsa, faaliyete dönerek ilgili konuyu tekrarlayınız.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

OBJEKTİF TESTLER (ÖLÇME SORULARI)

1–7 numaralı soruların başında verilen boşluğa doğru ise D, yanlış ise Y harfi koyunuz.

1. ( )Gürültü kaynaklarının ürettikleri işaretlerin genlikleri mikrovolt gibi çok küçük seviyelerde olmasına rağmen etkili olmaktadır.

2. (**)**İdeal devreden çıkan çıkış sinyali sadece orijinal sinyaldeki gürültüyü içermez.

3. ( )Termal gürültü çok geniş alanda bir spektral yoğunluğa sahiptir.

4. ( )Schottky gürültüsü bir iletken içindeki elektronların yaptıkları Brown hareketi ile ilgili bir olaydır.

5. ( )Alçak frekans gürültü ölçümlerindeki en basit yöntemlerden birisi de, gürültü katlama metodudur.

6. ( )Elektriksel gürültü, alıcı çıkışına kadar ulaşan istenmeyen gerilim ve akımlardır.

7. ( )Elektrik alan kuplajını engellemek için bağlantı kablolarını ekranlamaya gerek yoktur.

8 ve 9 numaralı sorularda doğru seçeneği işaretleyiniz.

8. Ayrık taşıyıcıların bir engelden düzensiz olarak geçmesi veya yarı iletkenlerin çalışmalarında olduğu gibi düzensizlikler sonucunda ortaya çıkan gürültüye ne ad verilir?

A) Isıl gürültü B)Schottky gürültüsü C)Artık gürültüsü D)Çığ gürültüsü

9. Aşağıdakilerden hangisi biyolojik işaretlere gürültünün karışmaması için dikkat edilmesi gereken hususlardan biri değildir?

A) Ag-AgCl elektrotları tercih edilmelidir.
B) Elektrotlar ve elektrotların temas edeceği deri yüzeyi çok temiz olmalıdır.
C) Elektrotların kabloları ekranlanmış olmalıdır.
D) Geniş yüzeyli elektrotlar kullanılmamalıdır.

10–15 numaralı sorularda boş bırakılan yerleri uygun şekilde doldurunuz.

10. Tıpkı Schottky gürültüsü gibi çığ gürültüsü de, bir ..... olayıdır.

11. Çoklu durum gürültüsü, uygulanan akımdaki tanımlı keskin düzey değişmeleri nedeniyle devre elemanında oluşan .... kaynaklanır.

12. Kuvvetlendiricinin giriş direnci, biyolojik işaretin algılandığı frekans spektrumu içinde, kaynak direncinin en az ..... katı büyüklüğünde olmalıdır.

13. Fizyolojik işaretlerin kuvvetlendirilmesinde kullanılan fark kuvvetlendiricilerinde önemli bir sorun ..... modda gelen giriş işaretlerinin bastırılmasıdır.

14. İyi bir fark kuvvetlendiricisinde..... ,100dB'in üzerindedir.

15. Kuvvetlendiriciyle ..... arasındaki kabloların uzun olması durumunda, toprağa olan kablo kaçak kapasiteleri de etkili olacaktır.

DEĞERLENDİRME

Sorulara verdiğiniz cevaplar ile cevap anahtarını karşılaştırınız, cevaplarınız doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz. Yanlış cevap verdiyseniz öğrenme faaliyetinin ilgili bölümüne dönerek konuyu tekrar ediniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ–3

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetini başarıyla tamamladığınızda, elektromanyetik alan analizini yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Biyomedikal fiziksel ölçümler modülünü inceleyiniz.
- Elektromanyetik alan ölçerlerin kullanımı hakkında bilgi toplayınız.
- Spektrum analizör ile elektromanyetik sinyallerin ölçülmesi hakkında araştırma yapınız. Bu bilgilere internetten ve çevrenizdeki işletmelerden ulaşabilirsiniz.

3. ELEKTROMANYETİK ALAN ANALİZİ

3.1. Elektromanyetik Alan

Mıknatıslar doğal olarak manyetik alana sahiptir. Bazı maddeler ise yapay bir şekilde manyetik alana sahip olur. Bu maddelerin manyetik kuvvetleri elektrik denetimlidir ve bu yüzden elektromıknatıs adını alır. Elektromıknatısların oluşturduğu manyetik alan ise elektromanyetik alan olarak adlandırılır. Konu içerisinde manyetik alan ve elektromanyetik alan aynı anlamda kullanılacaktır.

Manyetik akı yoğunluğu, birim yüzeyden dik olarak geçen manyetik kuvvet çizgisi sayısına denir. B ile gösterilir. Manyetik akı ile ilişkisi aşağıda gösterilmiştir.

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

Burada;
A = Alan
Φ = Manyetik akı
B = Manyetik akı yoğunluğu

Manyetik alan ya da manyetik akı yoğunluğu birimi olarak tesla(T) ve gauss(G) kullanılır. Küçük manyetik alanlar için gauss, büyük manyetik alanlar için tesla tercih edilir. Tıbbi görüntüleme amaçlı kullanılan MR ve tomografi cihazlarının geneli 0,1T ile 2T arasında manyetik alan oluşturmaktadır.

Düşük manyetik alanları (1mT'dan küçükler) ölçen aygıtlar manyetometre, yüksek manyetik alanları (1mT'dan büyükler) ölçenler ise gausmetre olarak adlandırılır.

Elektromanyetik alanın tanımı, oluşumu, elektromanyetik yoğunluk ve ölçülmesi ile elektromanyetik alanölçerlerin kullanımı hakkında detaylı bilgi, Biyomedikal Fiziksel Ölçümler modülünde detaylı şekilde anlatılmıştır.

3.2. Spektrum Analizörü ile Elektromanyetik Sinyallerin Gözlenmesi ve Ölçme

Ölçülmesi istenilen ortamdaki elektromanyetik sinyallerin gözlenmesi için gözleyeceğimiz ölçülmesi istenen frekans sınırları içerisinde bir RF prob ya da anten spektrum analizör cihazının RF girişine bağlanır. Buradan ortamdaki FM, TV veya diğer verici sinyallerini gözlemlenebilir. Yeterli sinyaller alınmadığı durumda antenin yönünü çevirmek kaydıyla yeni sinyalleri ya da zayıf sinyalleri gözlemleyebiliriz. Gözlemleme ilk önce geniş spektrumda olur. Sinyaller detaylı görülmek istenirse level düğmesi ile değiştirilerek geniş bant genişliğinde incelemek mümkündür.

UYGULAMA FAALİYETİ

Sabit elektromanyetik alan oluşturan bir cihazın bulunduğu ortamda sinyallerin spektrum analizi ile ölçümünü yapmak.

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
➢ Spektrum analizörün problarını takınız. ➢ Spektrum analizörün ölçmek istediğimiz frekans aralıklarını belirleyiniz. ➢ Bant genişliğini belirleyiniz. ➢ Mevcut durumu ekrandan gözlemleyiniz. ➢ Probları ölçülmek istenen cihaza bağlayınız. ➢ Ölçmek istediğiniz frekansın bant genişliğini değiştirerek inceleme hassasiyetini artırıp ölçüm yapınız. ➢ Bu işlemleri problara kuvvetli bir mıknatıs yaklaştırıp tekrar ediniz. ➢ Frekans skalasını değiştirerek işlemi tekrar ediniz.	➢ Gerekli güvenlik önlemlerini alınız. ➢ Cihaz görüntü ayarlarını kontrol ediniz. ➢ Cihaz ile ölçüm yapılmadan önce spektrum analizörün sıfır ayarını yapınız. ➢ Ölçümlerde hassas prob kullanınız.

PERFORMANS DEĞERLENDİRME

Aşağıda hazırlanan değerlendirme ölçeğine göre yaptığınız çalışmayı değerlendiriniz. Gerçekleşme düzeyine göre "Evet / Hayır" seçeneklerinden uygun olan kutucuğu işaretleyiniz.

KONTROL LİSTESİ

Öğrenme faaliyetinde kazandığınız beceriler doğrultusunda sabit elektromanyetik alan oluşturan bir cihazın bulunduğu ortamda sinyallerin spektrum analizi ile ölçümünü yapınız. Yaptığınız bu uygulamayı aşağıdaki tablo doğrultusunda ölçünüz.

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
1. Spektrum analizöre probları taktınız mı?		
2. Frekans aralığını ayarladınız mı?		
3. Bant genişliğini ayarladınız mı?		
4. Probları ölçüm yapılmak istenen cihaza bağladınız mı?		
5. Mıknatısı ölçüm yapılan cihaza yaklaştırıp tekrar ölçüm yaptınız mı?		

DEĞERLENDİRME

Faaliyet değerlendirmeniz sonucunda "Hayır" seçeneğini işaretleyerek yapamadığınız işlemleri tekrar ediniz. Tüm işlemleri başarıyla tamamladıysanız bir sonraki faaliyete geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

OBJEKTİF TESTLER (ÖLÇME SORULARI)

1–3 numaralı soruların başında verilen boşluğa doğru ise D, yanlış ise Y harfi koyunuz.

1. ( ) Düşük manyetik alanları (1mT'dan küçükler) ölçen aygıtlara gausmetre denir.

2. ( ) Manyetik akı yoğunluğu, birim yüzeyden dik olarak geçen manyetik kuvvet çizgisi sayısına denir.

3. ( ) Φ = manyetik akı yoğunluğudur.

4 ve 5 numaralı sorularda boş bırakılan yerleri uygun şekilde doldurunuz.

4. ..... oluşturduğu manyetik alan, elektromanyetik alan olarak adlandırılır.

5. Tıbbi görüntüleme amaçlı kullanılan ..... ve ..... cihazlarının geneli 0,1T ile 2T arasında manyetik alan oluşturmaktadır.

DEĞERLENDİRME

Sorulara verdiğiniz cevaplar ile cevap anahtarını karşılaştırınız, cevaplarınız doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz. Yanlış cevap verdiyseniz öğrenme faaliyetinin ilgili bölümüne dönerek konuyu tekrar ediniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ–4

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyetini başarıyla tamamladığınızda, tıbbi amaçlı değişken sinyallerin analizini yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Sinyal, faz, frekans, genlik kavramları ile dalga şekilleri hakkında bilgi toplayınız.
- Modülasyonun tanımı ve modülasyon çeşitleri hakkında araştırma yapınız.
- Sinyallerin analizinde kullanılan ölçüm cihazları ve ölçme yöntemleri hakkında ön bilgi toplayınız.

4. DEĞİŞKEN SİNYALLERİN ANALİZİ

4.1. Sinyallerde Değişken Çeşitleri ve Tanımları

Frekans:1 saniyedeki saykıl sayısı frekans olarak tanımlanır.
Faz: Sinyalin orijine göre başlama noktası faz olarak ifade edilir.
Genlik: Sinyalin büyüklüğü genlik olarak ifade edilir. Genel olarak dikey ekranda gösterilir.
Dalga şekli: Elektriksel sinyalin görüntülendiği zamanki fotoğrafıdır. En çok kullanılan 5 dalga şeklinden aşağıda bahsedilmiştir.

- **Kare dalga:** Sinyalin pozitif ve negatif alternanslarının belli sürelerde doğrusal olarak değiştiği dalga şeklidir.
- **Sinüzoidal dalga:** Zamana göre pozitif ve negatif alternansları değişken olan sinüs sinyalini andıran sinyallerdir.
- **Üçgen dalga:** Üçgen şeklindeki dalga şeklidir.
- **Testere dalga:** Dik üçgen şeklindeki dalga şeklidir.
- **Rastgele sinyal:** Zamana göre genliği ve sinyal şekli değişken olan sinyallerdir.

Modülasyon: Bilgi işareti tarafından taşıyıcı frekansına ait herhangi bir özelliğin (genlik, frekans, faz vb.) değiştirilerek, bilgi iletilmesine modülasyon denir. Modülasyon ve çeşitleri hakkında detaylı bilgi bir sonraki bölümde anlatılacaktır.

4.2. Modülasyon

Alçak frekanslı bilgi sinyallerinin, yüksek frekanslı taşıyıcı sinyaller üzerine bindirilip bilgilerin iletilmesine modülasyon denir.

Modülasyon işlemini gerçekleştirmek için iki sinyale ihtiyaç vardır: Bilgi sinyali ve taşıyıcı sinyali. Alçak frekanslı bilgi sinyaline, modüle eden, modüle edici, modülasyon sinyali, gönderilecek sinyal, alçak frekanslı (AF) sinyal adı da verilir. Yüksek frekanslı taşıyıcı sinyaline, modüle edilen, RF (Radyo Frekans) sinyali, hamal sinyal de denilebilir. Modülasyon işleminde modüle eden sinyal bilgi sinyali, modülasyona uğrayan veya modüle edilen sinyal ise taşıyıcı sinyalidir.

4.2.1. Genlik Modülasyonu

Bu modülasyon türünde, bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak, taşıyıcı sinyalinin sadece genliği değiştirilir. Uzak mesafelere gönderilmek istenen düşük frekanslı ses veya müzik şeklindeki bilgiler önce elektriki enerjiye çevrilir. Sonra taşıyıcı (RF) sinyal üzerine bindirilerek, elektromanyetik dalgalar şeklinde uzak mesafelere yayınlanır.

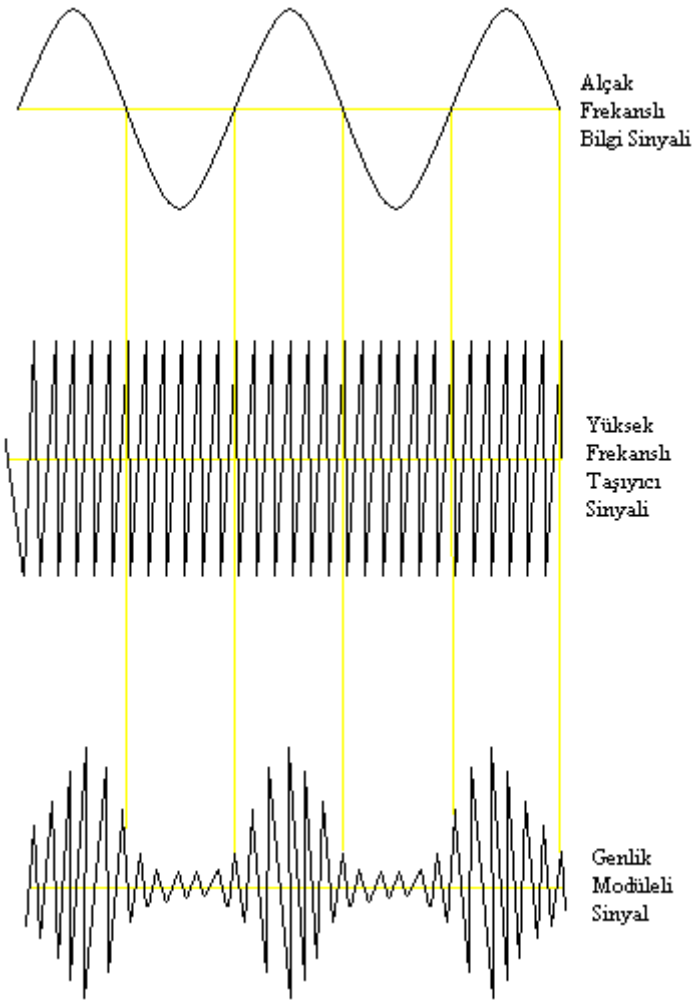
4.2.1.1. Prensibi

Modülasyon için iki önemli sinyalin olması şarttır. Bunlar bilgi sinyali ve taşıyıcı sinyalidir. Bunlardan frekansı düşük olan uzak mesafelere gönderilecek olan bilgi sinyali, frekansı yüksek olan ise hamal vazifesi gören taşıyıcı sinyalidir. 100 KHz ve 5 KHz'lik iki ayrı sinyalden hangisinin bilgi, hangisinin taşıyıcı olduğunu tespit edebiliriz.

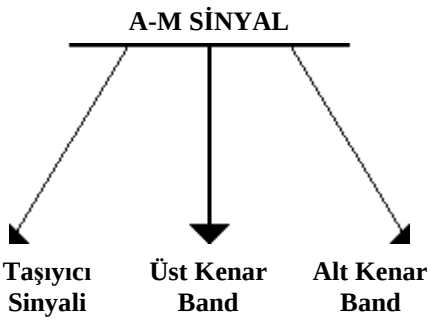
Şekil 4.1'de 5 kHz'lik bilgi sinyali ile 100 kHz'lik taşıyıcının modülasyonu gösterilmiştir.

Şekilde gösterildiği gibi alçak frekanslı bilgi sinyalinin pozitif (+) alternanslarında taşıyıcının genliği artar. En büyük genlik, bilgi sinyalinin (+) peak noktasında elde edilir. Alçak frekanslı bilgi sinyalinin negatif (-) alternanslarında ise taşıyıcının genliği azalır. En küçük genlik ise, bilgi sinyalinin (-) peak noktasında elde edilir. Böylece taşıyıcının genliği, bilgi sinyaline göre değiştirilmiş olur. Burada modüle eden sinyal, bilgi sinyalidir.

Modüle edilen ise taşıyıcıdır. A-M sinyal 3 bileşenden oluşur.



Şekil 4.1: Genlik modülasyonlu dalganın oluşumu



Bu sinyallerden herhangi birisinin olmaması hâlinde elde edilen sinyal, A-M sinyal değildir. A-M sinyal olabilmesi için üç sinyalin olması şarttır.

E_C = Taşıyıcının genliği
fc = Taşıyıcının frekansı
fc + fm = Üst kenar bandın (ÜKB) frekansı
fc - fm = Alt kenar bandın (AKB) frekansı
(E_m / 2)= ÜKB ve AKB 'ın genliğini gösterir.

(fc + fm) gibi toplam frekanslar ÜKB 'ı, (fc - fm) gibi fark frekanslar ise AKB 'ı oluşturur. Genlik modülasyonu neticesinde; taşıyıcı sinyali, taşıyıcının üstünde ÜKB, taşıyıcının altında ise AKB oluşur. Kenar bantların genliği ise eşittir.

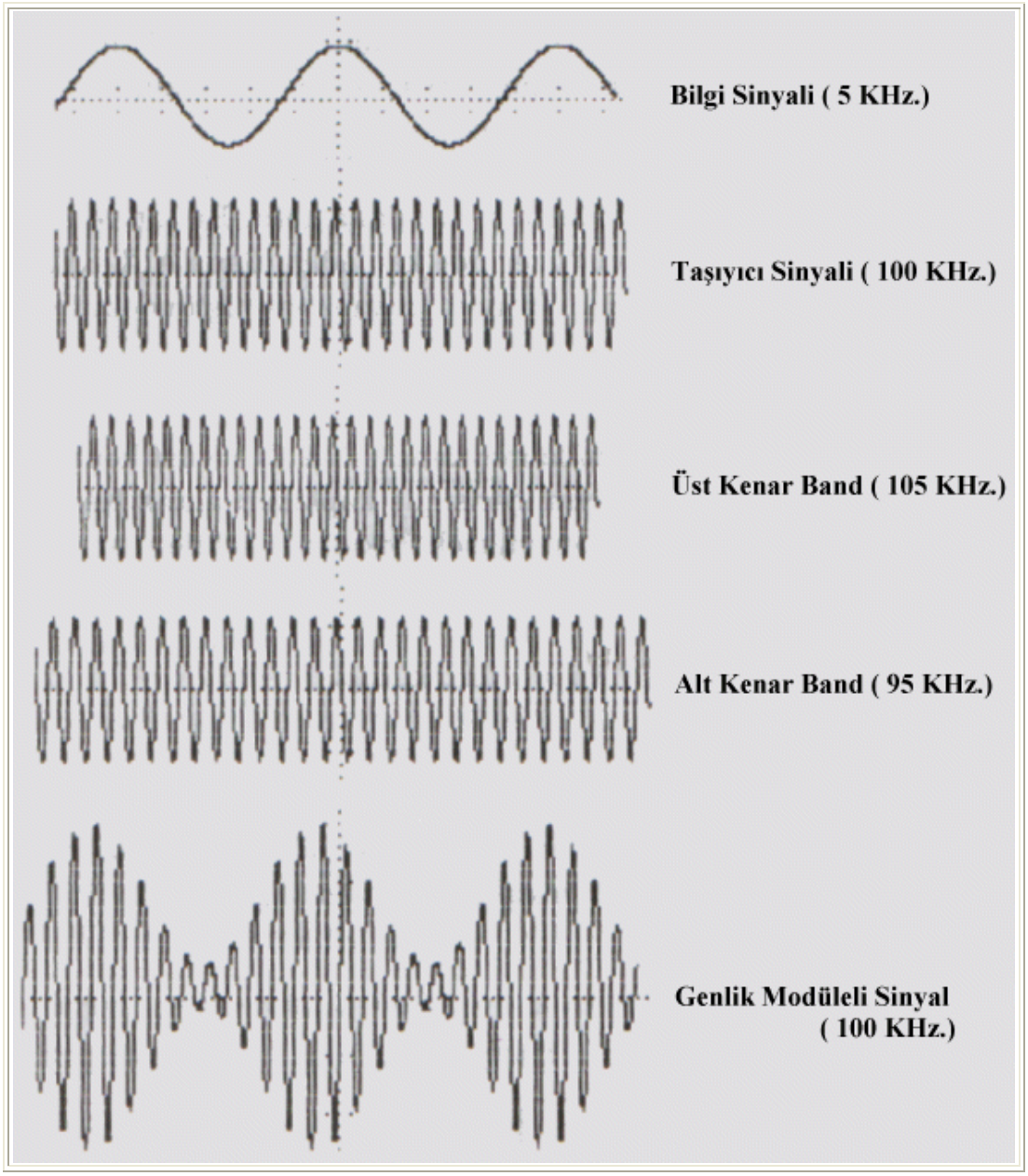
Örneğin, 100 kHz'lik taşıyıcı ile 5 kHz'lik bilgi sinyali A - M 'na tabi tutulursa, meydana gelecek üst kenar bandın frekansı;

$F_{ÜKB}$= 100+5 = 105
Alt kenar bandın frekansı ise;
f_{AKB} = 100–5 = 95 KHz. olacaktır.

Genlik modülasyonunda esas olarak antenden yayınlanan frekanslar; taşıyıcı, toplam ve fark frekanslar (AKB ve ÜKB) dir.

Şekil 4.2 'de 5 kHz'lik bilgi ile 100 kHz'lik taşıyıcı sinyali genlik modülasyonuna tabi tutulmuş ve modülasyon neticesinde 105 kHz'lik bir üst kenar bant, 95 kHz'lik alt kenar bant oluşmuştur.

Bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak taşıyıcının genliği değiştirilerek genlik modüleli sinyal elde edilmiştir. Burada unutulmaması gereken nokta, genlik modüleli sinyalin frekansı da 100 kHz'dir Çünkü, modülasyon sonucunda taşıyıcının frekansı değil, genliği değiştirilir.



Şekil 4.2: Genlik modülasyonu

4.2.1.2. Kenar Bant Frekansları ve Bant Genişliği

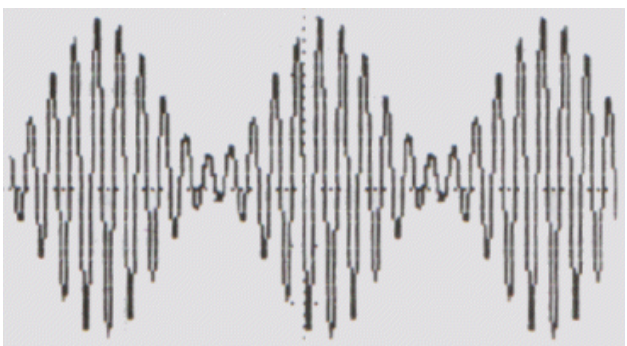
Taşıyıcı ve bilgi sinyali frekanslarının toplamı üst kenar bandı, frekansların farkı ise alt kenar bandı meydana getirir. Taşıyıcı sinyali, ses veya müzik işaretleri ile modüle edilirse, modülasyon sonunda taşıyıcı sinyali sabit kaldığına göre değişik frekans değerlerindeki bilgi sinyal (ses, müzik) frekansı adedinde alt ve üst kenar frekansları meydana gelir. Bu alt ve üst kenar frekanslarının frekans spektrumu üzerinde kapladığı alana "alt kenar" veya "üst kenar bant" adı verilir. Taşıyıcı frekansının üstündeki frekansların oluşturduğu banda "üst kenar bant", taşıyıcı frekansının altında oluşan frekansların meydana getirdiği banda ise "alt kenar bant" adı da verilir.

Genlik modülasyonu sonucunda meydana gelen alt ve üst kenar bantları ile taşıyıcının frekans spektrumu içerisinde kapladığı alana "kanal" veya "bant genişliği" (BW) denir ve en yüksek frekanslı modüle eden (bilgi) sinyalin iki katına eşittir.

BW = 2.fm

4.2.1.3. Modülasyon Zarfı ve Modülasyon Faktörü

Taşıyıcı RF sinyali, alt ve üst kenar bantları ile birlikte modüle edilmiş taşıyıcı sinyalini oluşturur. Buna modüleli dalga zarfı, modülasyon zarfı veya **modülasyon trapezi** adı verilir. Şekil 4.3'te modülasyon zarfının şekli gösterilmiştir. Burada bilgi sinyali tepe değerlerinin seviyesini belirlemiştir. Bilgi sinyali olmasaydı AKB ve ÜKB oluşmazdı. Dolayısıyla, bilgi sinyali taşıyıcı, AKB ve ÜKB arasında saklıdır. Dolayısıyla bilgi sinyali, A-M sinyalin bant genişliğini belirler.



Şekil 4.3: Modülasyon zarfı

Modülasyon zarfının genliği ve genlik değişme oranı bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak değişir. Modüle eden sinyalin (bilgi) genliği, taşıyıcı sinyal genliğindeki değişme miktarını, bilgi sinyalin frekansı ise taşıyıcı sinyal genliğindeki değişme hızını tayin eder. Bilgi sinyal genliğinin (E_m), taşıyıcı sinyal genliğine (E_C) oranına modülasyon faktörü veya indeksi denir, m ile gösterilir. Birimi yoktur. (Volt/Volt = l)
$m = (E_m / E_C)$

Dikkat edilmesi gereken nokta bilgi sinyal genliği hangi birimden (tepeden tepeye, etkin, tepe) alınıyorsa, taşıyıcı sinyal genliği de aynı birimden alınmalıdır.

4.2.1.4. Modülasyon Yüzdesi ve Modülasyon Yüzdesine Göre Genlik Modülasyonlarının Sınıflandırılması

Modülasyon faktörünün 100 ile çarpımına eşittir. % m ile gösterilir. Modülasyon derinliği, modülasyon derecesi

% m = (E_m / E_C).100 olarakta bilinir.

Aslında modülasyon yüzdesi; bilgi sinyalinin, taşıyıcının yüzde kaçının modüle edebildiğinin ifadesidir.

Örneğin; modülasyon faktörü 0,8 ise modülasyon yüzdesi %80 'dir. Yani, bilgi sinyali taşıcının % 80 'ini modüle edebilmiştir. Geriye kalan % 20 'sini modüle edememiştir. Eğer; bilgi sinyali, taşıyıcının tamamını modüle etmişse

% m = % 100 'dür.

A-M 'de modülasyon yüzdesinin artması, o sinyalin anlaşılırlığını, iyilik derecesini artırır.

4.2.2. Frekans Modülasyonu

Frekans modülasyonu (frequency modulation - FM), taşıyıcı dalga frekansının, bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak değiştirilmesidir. Frekans modülasyonu, genlik modülasyonundan daha günceldir. Genlik modülasyonu ile frekans modülasyonunun özellikleri aşağıda karşılaştırılmaktadır.

Genlik Modülasyonunun Özellikleri

- Modülasyon anında taşıyıcının genliği değişir, frekansı ise sabittir.
- Modülasyon anında, taşıyıcının altında ve üstünde olmak üzere iki adet kenar bant oluşur.
- BW, modüle eden sinyal frekansının iki katına eşittir.
- % 100 modülasyonda modülasyon faktörü l 'e eşittir.
- Modülasyon sinyal frekansının yükselmesi, taşıyıcı dalga genliğinin çok hızlı değişmesine neden olur.
- Modülasyon sinyal genliğinin yükselmesi, taşıyıcı dalga genliğinin çok yükselmesine neden olur.

Frekans Modülasyonunun Özellikleri

- Modülasyon anında, taşıyıcının frekansı değişir, genliği ise sabittir.
- Modülasyon anında çok sayıda kenar bantları oluşur.
- BW, modülasyon faktörüyle değişir.
- Modülasyon faktörü genellikle l 'den büyüktür.
- Modülasyon sinyal frekansının yükselmesi, taşıyıcı frekansının değişme hızını artırır.
- Modülasyon sinyal genliğinin büyümesi, taşıyıcının frekans değişme sınırını genişletir.

4.2.2.1. Prensibi

Frekans modülasyonu için iki önemli sinyal vardır. Bunlar, alçak frekanslı bilgi ve yüksek frekanslı taşıyıcı sinyalidir. Modüle edilmemiş taşıyıcının frekansına, merkez ya da sükunet frekansı adı verilir. Örneğin, 3 kHz'lik bilgi sinyali ile 100 MHz'lik taşıyıcı, frekans modülasyonuna tabi tutulursa, buradaki 100 MHz taşıyıcının merkez frekansıdır.

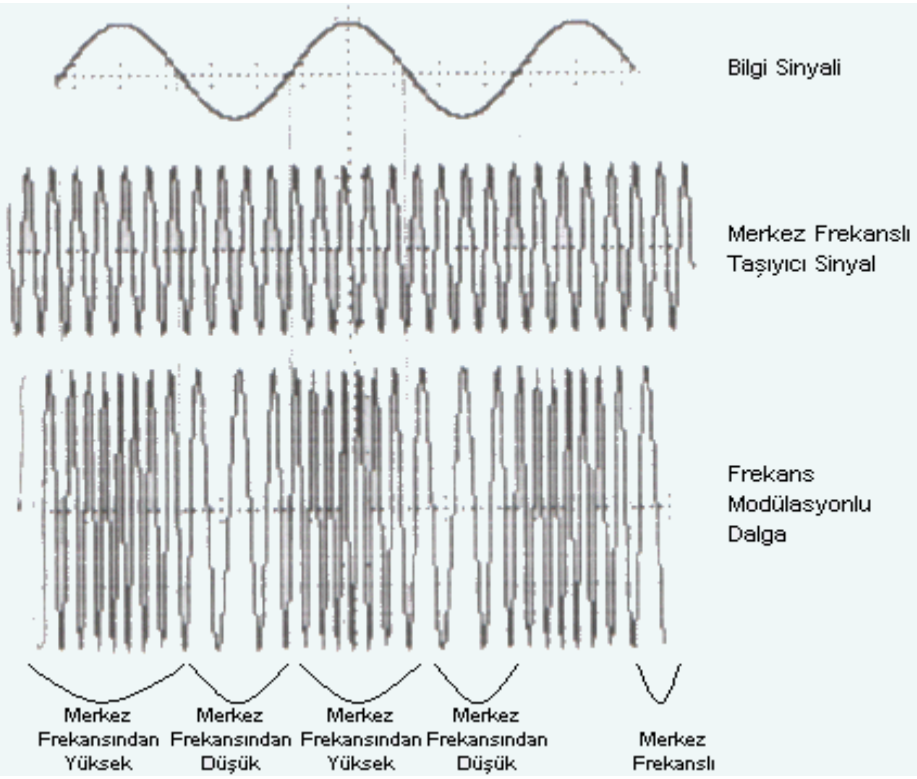
Modülasyon için gerekli olan sinyaller, Şekil 4.4'te bilgi ve merkez frekanslı taşıyıcı sinyali olarak gösterilmiştir. Modüle eden (bilgi) sinyalin (+} alternanslarında, taşıyıcının frekansı yükselir. Bu değer merkez frekansının üstündedir.

Taşıyıcının en yüksek frekansı, bilgi sinyalinin (+} max değerinde elde edilir. Bilgi sinyalinin {-) alternanslarında, taşıyıcının frekansı azalır. Bu değer merkez frekansının altındadır. En düşük taşıyıcı frekansı, bilgi sinyalinin (-) max değerinde elde edilir. Modüle eden sinyalin genliği sıfırsa, taşıyıcı frekansı merkez frekansına eşittir.

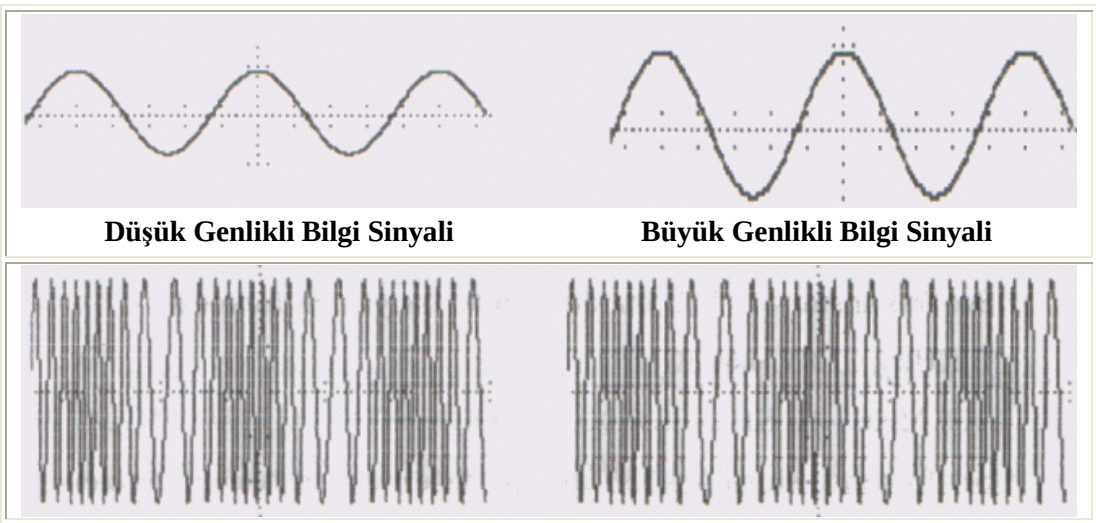
Şekil 4.4'te görüldüğü gibi frekans modülasyonlu dalganın frekansı bir akordiyon misali merkez frekansının üstüne ve altına çıkar. Bir F-M 'lu dalganın frekansı, modüle eden sinyal genliğinin değişimine bağlı olarak merkez frekansının altında ve üstünde değerler alır. İşte taşıyıcı frekansının, modüle eden sinyalin (+) ve (-) tepe değerlerinin sebep olduğu frekans değişme miktarına frekans sapması (değişme miktarı, deviasyonu) denir.

Modüle eden sinyalin genliği ne kadar büyük ise frekans modülasyonlu sinyalin, frekans değişme miktarı da o kadar fazladır.

Örneğin, düşük genlikli modüle eden sinyal, 100 MHz'lik bir taşıyıcı frekansını 99,99 MHz ile 100,01 MHz. arasında değiştiriyorsa, buradaki frekans sapması ±10 kHz'dir. Yani, taşıyıcının frekansı merkez frekansının 10 kHz üstüne ve 10 kHz altına düşer.



Şekil 4.4: Frekans modülasyonlu sinyalin elde edilmesi



Şekil 4.5: Frekans sapmasının bilgi sinyal genliğiyle ilişkisi

Aynı merkez frekanslı taşıyıcı sinyali, büyük genlikli modüle eden sinyalle modülasyona tabi tutulup, taşıyıcı frekansını 99,95 MHz ile 100,05 MHz arasında değiştiriyorsa buradaki frekans sapması ±50 kHz'dir. Frekans sapma değerlerine bakılarak, bilgi sinyal genliği hakkında bilgi sahibi olunabilir.

4.2.2.2. Modülasyon Yüzdesi

Frekans modülasyonunda tam sapma, genlik modülasyonundaki % 100 modülasyonunun karşılığıdır (sivil amaçlı yayınlarda ±75 kHz). Tam sapmanın aşılması durumunda aşırı modülasyon gerçekleşir.

% 50 modülasyonda, ±75 kHz . 0,5 = ±37.5 kHz
% 30 modülasyonda, ±75 kHz . 0,3 = ±22,5 kHz'lik frekans sapması olur.

Genlik modülasyonunda olduğu gibi, frekans modülasyonunda modülasyon yüzdesi, bilgi sinyalinin taşıyıcının yüzde kaçını modüle edebildiğinin ifadesidir.

Modülasyon yüzdesi,

%m = (±50 KHz. / ±75 KHz.).100 = %66,7 olarak bulunur.

4.2.3. Faz Modülasyonu

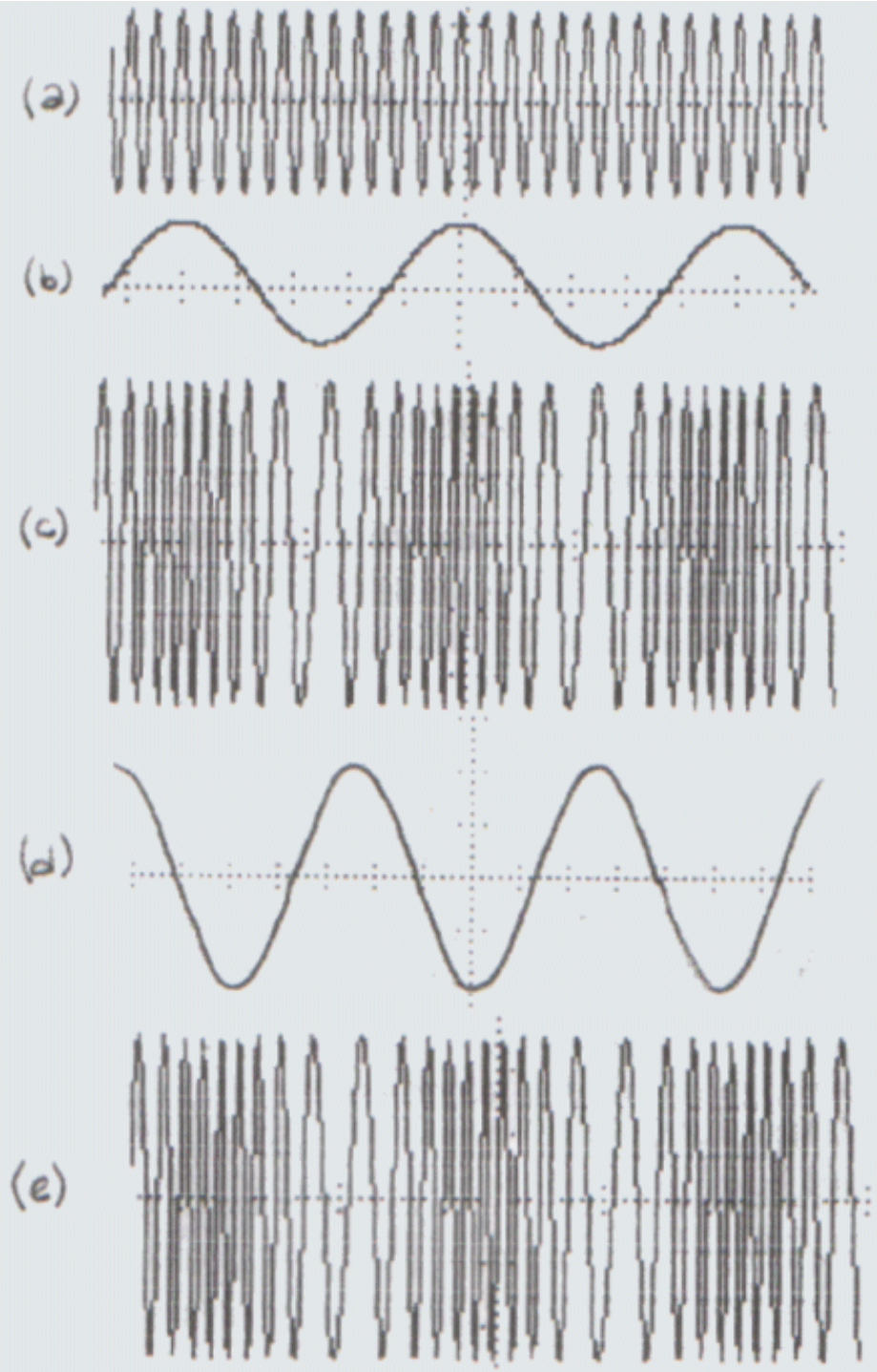
Taşıyıcı sinyal fazının, bilgi sinyal genlik ve frekansına bağlı olarak değiştirilmesidir. Faz modülasyonu, frekans modülasyonuna benzerlik gösterir.

Bir taşıyıcının frekansı değiştirildiğinde fazı, fazı değiştirildiğinde de frekansı değişir. Bundan dolayı FM ile PM birbirine benzer.

Modüle edici sinyale uygun olarak doğrudan değiştirilen, taşıyıcının frekansı olursa FM, modüle edici sinyale uygun olarak doğrudan değiştirilen taşıyıcının fazıysa PM meydana gelir. Direkt FM, endirekt PM; direkt PM ise endirekt FM 'dir.

Şekil 4.6'da hem FM, hem de PM sinyal şekilleri gösterilmiştir, (b) şeklindeki modüle edici (bilgi) sinyalin ilk türevi (d) şeklinde olduğu gibi cosinüs dalgasıdır. Yani, sinüsün türevi cosinüs sinyalidir.

Bu sinyal, sinüs sinyalinden 90° ileridedir, (d) şeklindeki türevi alınmış bilgi sinyalinin (-) alternanslarında taşıyıcının frekansı artar, (+) alternanslarında ise taşıyıcının frekansı azalır.

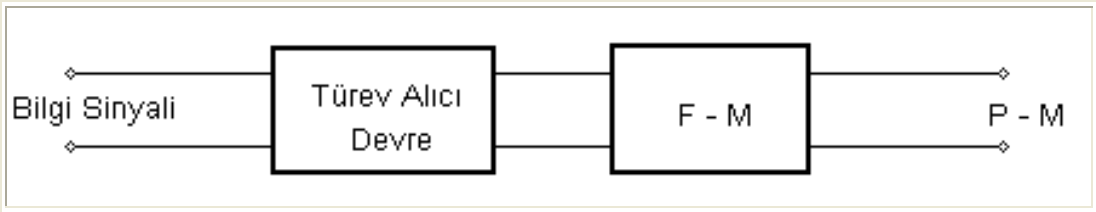


Şekil 4.6: (a) Taşıyıcı sinyali, (b) Bilgi sinyali, (c) Frekans modülasyonlu sinyal, (d) Bilgi sinyalinin türevi,(e) Faz modülasyonlu sinyal

Özetle;

- Bilgi sinyalinin (-) alternansında, taşıyıcının fazı artar. Fazın artması demek, taradığı açı miktarının fazlalaşması ve taşıyıcı sinyalinin aynı periyodu daha kısa sürede tamamlaması demektir. Bu da frekansın artmasıdır.
- Bilgi sinyalinin (+) alternansında, taşıyıcının fazı azalır. Fazın azalması demek, taradığı açı miktarının azalması ve taşıyıcı sinyalinin aynı periyodu daha uzun sürede tamamlaması demektir. Bu da frekansın azalması demektir.

Faz modüleli sinyalin elde edilmesi için Şekil 4.7'deki blok diyagramda görüldüğü gibi bilgi sinyalinin türev alıcı devrede türevi alınır ve F-M modülatöre uygulanır. F-M modülatörün çıkışından P-M elde edilir. F-M de frekans sapması söz konusu iken P-M 'de faz sapması söz konusudur.



Şekil 4.7: Faz modüleli sinyalin elde edilmesi

4.2.4. Darbe Modülasyonu

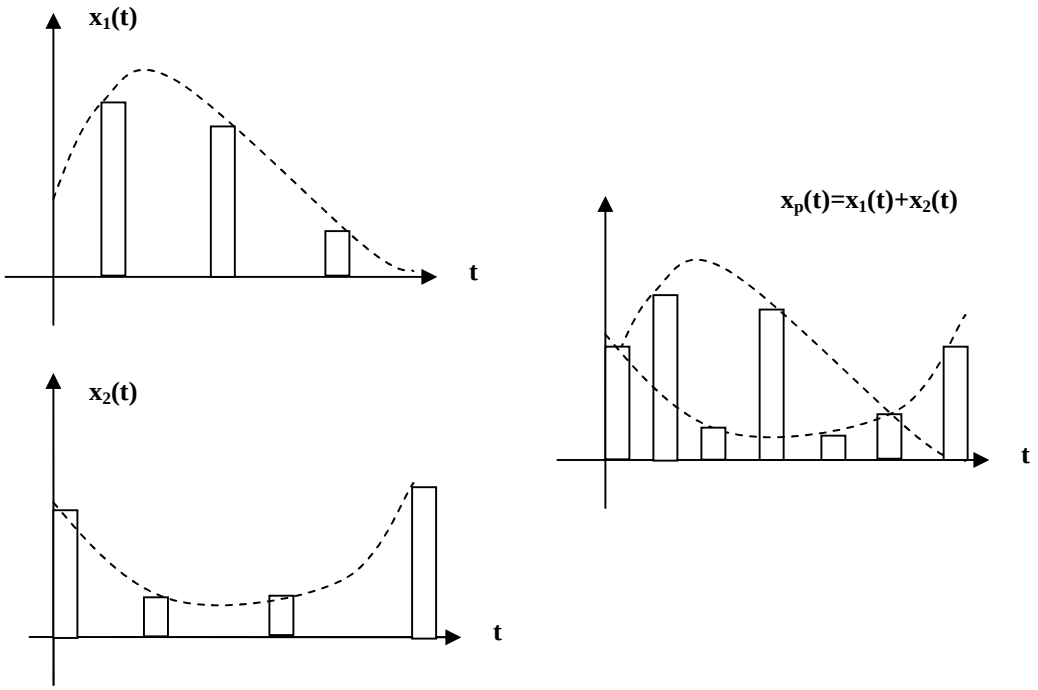
Herhangi bir eğrinin çizimi sınırlı sayıda nokta ile yapılabilir. Bu nokta sayısı sonsuza kadar çıkabilir. Nokta sayısına göre yapılan hata miktarı da değişir. Eğrilerin bu şekilde çizimi darbe, modülasyonun temel mantığını ortaya koymaktadır. Darbe modülasyonunda, iletilecek elektriksel işaretlerden belirli anlarda numuneler alınarak iletilir. Alıcı tarafta bu numunelerden orijinal işaret elde edilir.

Çok değişik sayıda darbe modülasyonu vardır. Standardize edilmemiştir. Ancak, darbe genlik modülasyonu (PAM), darbe genişlik modülasyonu (PWM) ve darbe konum modülasyonu (PPM) olmak üzere üç çeşit modülasyon tipi daha çok kullanılmaktadır.

Darbe modülasyonu ile AM veya FM arasındaki temel fark; AM ve FM'de iletilecek bilgiye bağlı olarak taşıyıcının bazı parametreleri sürekli olarak değişir. Hâlbuki darbe modülasyonunda, bilgi numunelerine bağlı olarak darbeler şeklinde bir etki söz konusudur.

Darbe modülasyonunun sürekli dalga modülasyonuna göre üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

- Darbe modülasyonunda iletilen güç, yalnız kısa darbeler içinde yoğunlaşmıştır. Sürekli dalga modülasyonundaki gibi sürekli olarak dağılmamıştır. Bu özellik tasarımcılara önemli kolaylıklar sağlamaktadır.
- Darbeler arasındaki boşluklar, diğer mesajlara ait örneklerle doldurularak, tek bir haberleşme sistemi üzerinden birden fazla mesaj işaretinin iletilmesi sağlanabilir. Şekil 4.8'de gösterilen bu sisteme zaman bölmeli çoğullama (time division multiplexing-TDM) adı verilir.
- İşlemler ayrık türden işaretlerle yapıldığı için, son yıllarda tümleşik devre teknolojisindeki büyük gelişmeler, sayısal haberleşme devrelerinin gerçekleştirilmesini kolaylaştırmıştır.
- Sayısal işaret işleme tekniklerindeki ilerlemeler, sayısal işaretlerin daha yaygın kullanılmasına neden olmuştur.
- Bazı darbe modülasyonlu sistemler gürültü ve diğer bozucu işaretler açısından sürekli dalga haberleşmesinden daha güvenilir bulunmaktadır.



Şekil 4.8: Zaman bölmeli çoğullama (TDM)

Darbe modülasyonu gerçekleştirilirken, ilk önemli adım, verilen bir mesaj işaretini ayrık örneklerden oluşan değerlere dönüştürme işlemidir. Bu işleme **örnekleme işlemi** denir.

Örnekleme Teoremi

Bu teorem Shanon örnekleme teoremi olarak da adlandırılır. Teorem temel olarak sınırlı bantlı bir x(t) analog işaretinin yeniden ve bozulmadan elde edilebilmesi için örnekleme işleminin nasıl olması gerektiği belirtilmektedir. Örnekleme teoreminin ifadesi ideal örnekleme durumu için şöyle verilebilir.

W[Hz] frekansı ile bandı sınırlı bir x(t) işaretinden eşit T zaman aralıklarında alınan x(nT) örnek değerleri kullanılarak, işaretin tek ve bozulmasız olarak elde edilmesi için gerek ve yeter koşul;

$$f_s = \frac{1}{T} \geq 2W \tag{4.1}$$

olmasıdır. Bu koşul altında x(t) işareti

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(kT) \frac{\sin\left[\pi \frac{t}{T} - k\right]}{\frac{t}{T}} \tag{4.2}$$

ifadesinden elde edilebilir. Burada T (saniye) örnekleme aralığı, $f_s=1/T$ (örnek/saniye) örnekleme hızı (Nyquist hızı) veya örnekleme frekansı olarak adlandırılır.

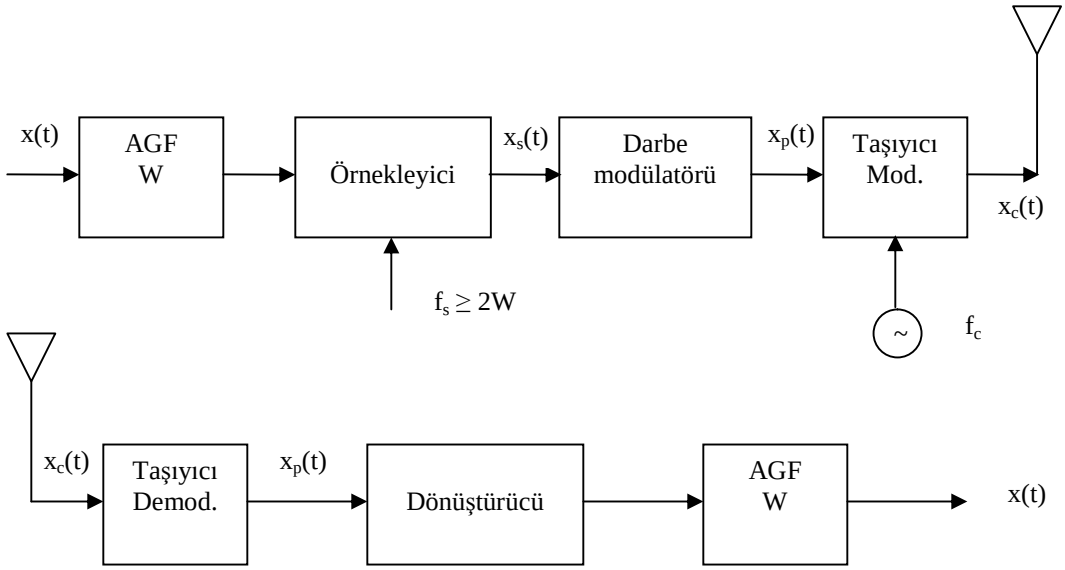
Darbe Modülasyonunda İletim Bant Genişliği

Darbe modülasyonlu devrelerin iletim bant genişliklerine ilişkin şu sonuçlar elde edilebilir:

- Analog darbe modülasyonu yapılmasının pratik üstünlüğü, darbe sürelerinin (τ) darbeler arasındaki zamana (T) göre çok küçük seçilmesine bağlıdır. Örneğin, TDM yapılması durumunda, mesaj işaretinin bant genişliği W ise,

$$\tau << T \leq \frac{1}{2W} \tag{4.3}$$

yazılabilir.



Şekil 4.9: Darbe modülasyonlu sistemin blok diyagramı

- Bu durumda, temel bant (B_{TB}) iletim bant genişliği;

$$B_{TB} \geq \frac{1}{2\tau} >> W \qquad (4.4)$$

olur. Ayrıca, taşıyıcı modülasyon kullanıldığında bu bant genişliği (B) iki katına çıkacağından;

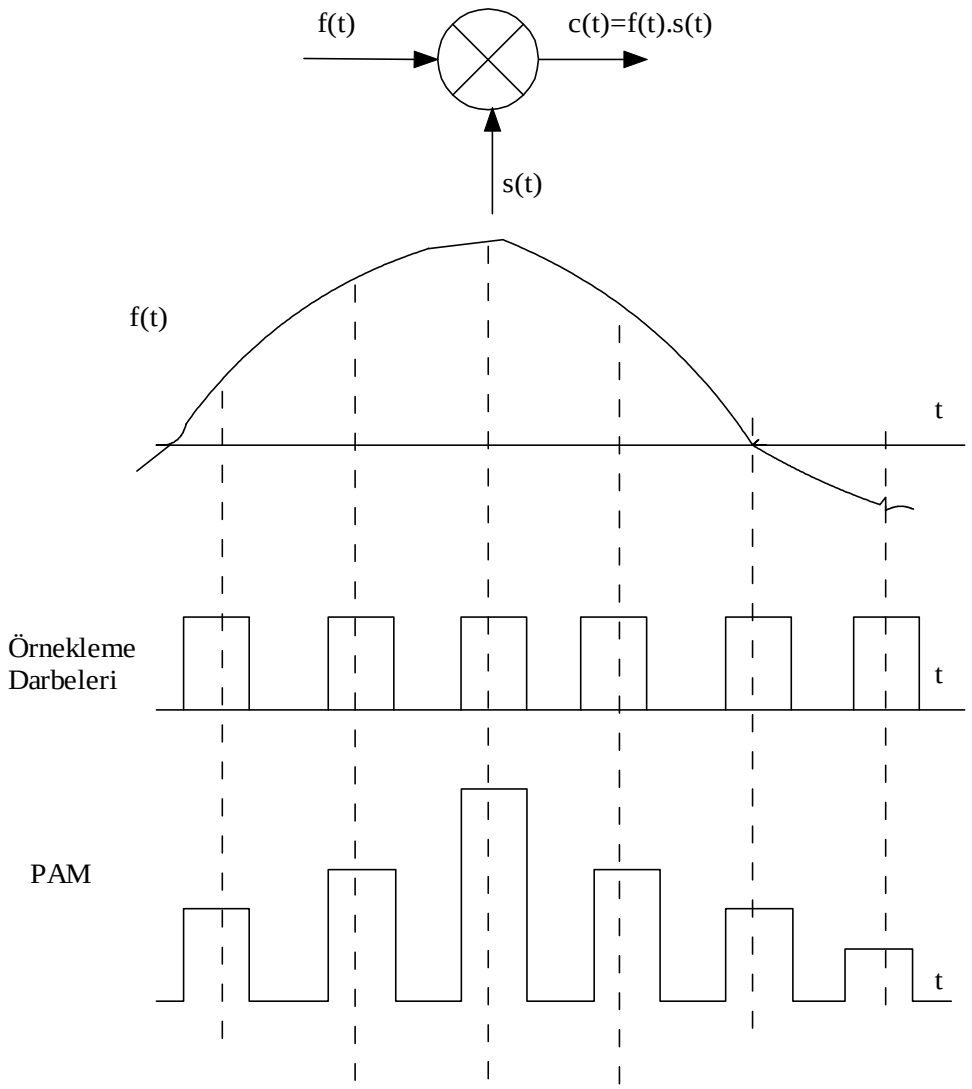
$$B = 2B_{TB} >> 2W \qquad (4.5)$$

olur.

- Denklem 4.4'ten darbe modülasyonundaki temel bant genişliğinin mesaj işaretinin bant genişliğinden büyük olduğu görülmektedir (BTB>>W). Bu sonuç, açısal modülasyon ile darbe modülasyonlu sistemler arasında bir benzerlik oluşturmaktadır. Bu nedenle, darbe modülasyonun "geniş bantlı gürültü azaltılması" özelliğine sahip olduğu görülür.
- Yine de ileride görülecek, darbe genlik modülasyonunun (PAM) genlik modülasyonuna benzerliğinden dolayı, bu modülasyon türünün modüle edilmemiş sayısal işaretlerin iletiminde, gürültüyü azaltma yönünden bir farkı yoktur. Bu nedenle, PAM tek kanallı bilgi iletiminde nadiren kullanılır. TDM işlemlerinde PAM önemli rol oynamaktadır.

4.2.4.1. Darbe Genlik Modülasyonu (PAM)

Bu darbe modülasyonu türünde, taşıyıcı darbe dizisindeki her darbenin genliği, bilgi işaretine bağlı olarak değiştirilir.



Şekil 4.10: PAM'ın elde edilişi ve dalga şekli

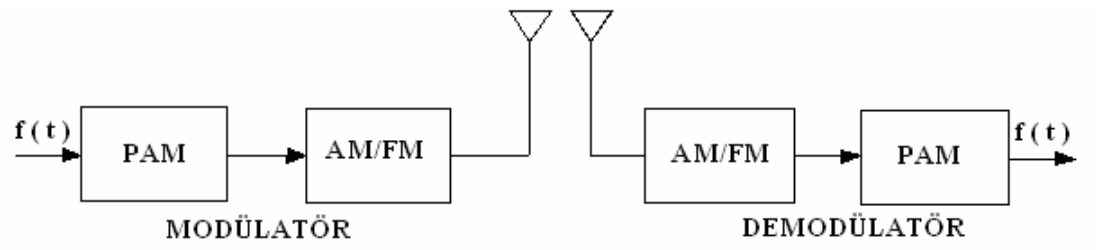
PAM'da örnek alma sürelerinin dışındaki boşluklarda başka bilgi işaretlerini göndermek mümkündür (zaman bölmeli sistemler (TDM)).

PAM İşaretlerinin İletimi

PAM işaretleri boşlukta, doğrudan elektromanyetik dalgalarla kolayca iletilemezler. Bunun nedeni; PAM işareti spektrumunun alçak frekanslarda yoğunlaşması ve bu tür işaretlerin elektromanyetik dalgalarla iletimi için yapılması güç büyük antenler gerekmesidir. PAM işaretleri doğrudan kabloyla iletilebilirler.

PAM işaretlerinin iletiminde bir başka yolda;

PAM işaretine AM ya da FM uygulayarak, bu işaretin spektrumu yüksek frekanslara aktarılır ve böylece elde edilen AM/FM işareti, elektromanyetik dalgalarla iletilebilir. Alıcıda ise, önce AM/FM demodülasyonu yapılarak PAM işareti elde edilir ve daha sonra bu PAM işareti, demodüle edilerek bilgi işareti elde edilir. Bu birleşik modülasyon türüne PAM + AM/FM denir.



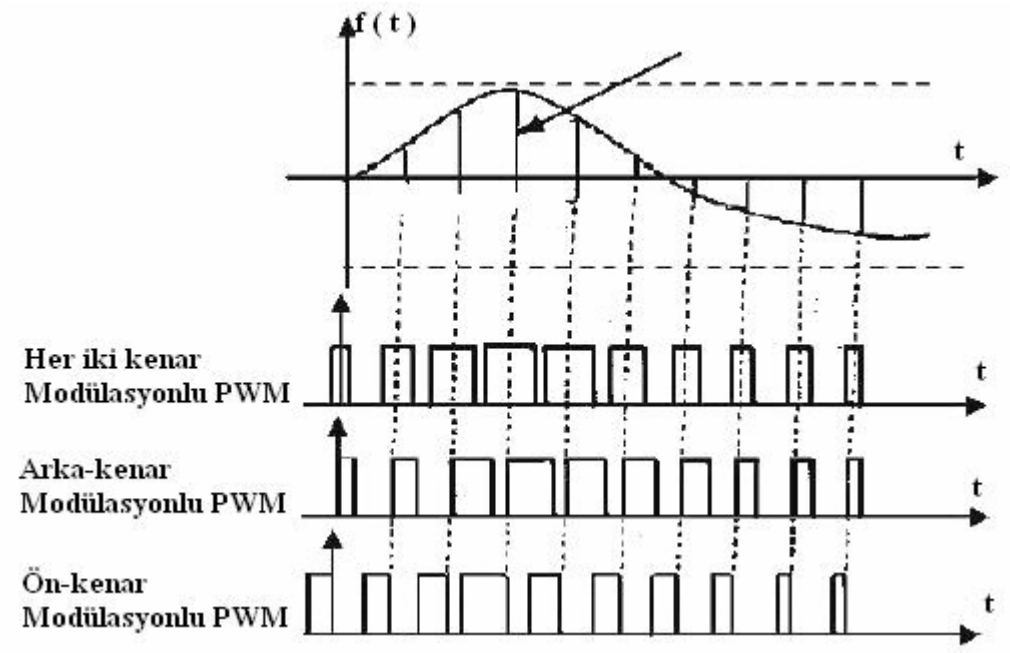
Şekil 4.11: PAM modülatör ve demodülatör

PAM bu biçimde diğer bazı modülasyonlarla birlikte kullanılacaksa; "PAM'a ne gerek var?" diye sorulabilir. Neden AM / FM'i doğrudan bilgi işaretine uygulamıyoruz? Özgün bilgi işareti kesikli biçimde ise, bu soruların yanıtı aşikârdır. Diğer durumlarda ise, bileşik modülasyon yöntemi, işleme kolaylıkları ya da başka yararlar sağladığı zaman kullanılır.

PAM işaretlerinin (ya da bileşik modülasyonlu işaretlerin) geniş frekans bantları kaplamaları nedeniyle bu işaretlerin frekans çoklama ile iletilmesi, ek bir yarar sağlamaz. Bu yüzden TDM daha kullanışlıdır.

4.2.4.2. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM)

Darbe genişlik (süre) modülasyonu (Pulse (duration) width modülation – PWM (PDM)); taşıyıcı darbe dizisindeki her darbenin genişliğinin bilgi işareti ile orantılı değiştirilmesi sonucu elde edilir. Aşağıda gösterildiği gibi bu modülasyon türü üç farklı biçimde gerçekleştirilebilir:



Şekil 4.12: Arka, ön, her iki kenar modülasyonlu PWM

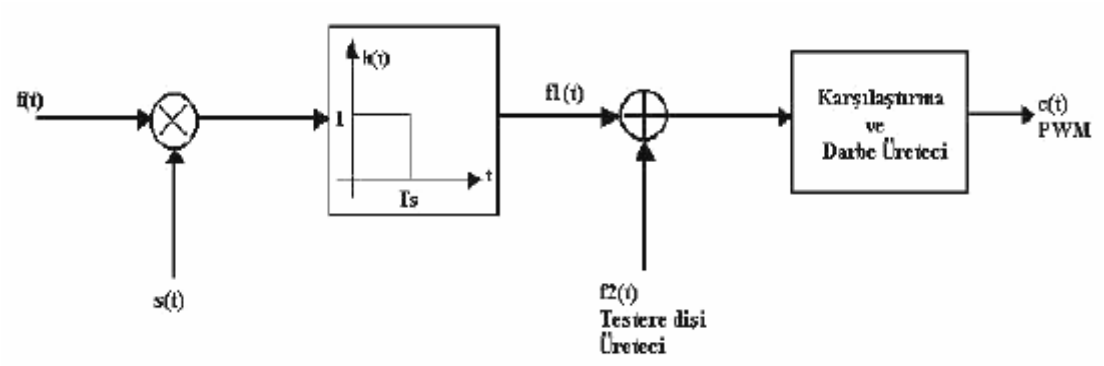
Testere dişi sinyali üçgen (ikizkenar) olursa; PWM dalgasının her iki kenarı bilgiyi taşır. Buna iki kenar modülasyonlu PWM denir. Testere dişi dik üçgen olursa; PWM darbelerinin başlangıç kenarları düzgün aralıklıdır, arka kenarın bitiş kenarının zamanı bilgiyi taşır. Buna da arka kenar modülasyonlu PWM denir. Şayet testere dişi dik üçgen ters olursa; buna da ön-kenar modülasyonlu PWM denir.

PWM işareti yaklaşık olarak, sürekli dalga (CW) modülasyonunun bir türü olan açı (frekans ve faz) modülasyonuna benzemektedir. Bu nedenle, zaman ve frekans domenindeki ifadelerini kesinlikle analitik olarak ifade etmek mümkün değildir. Ancak, büyük bir yaklaşıkla, fourier serisi açılımından yararlanarak, bazı sonuçlar elde edilebilir.

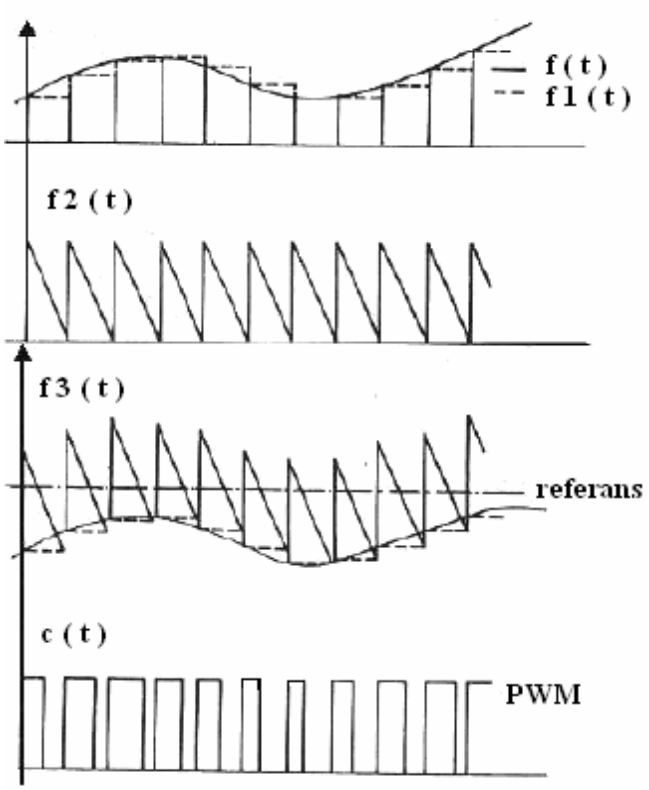
PWM işareti FM işareti gibi, doğrusal olmayan bir modülasyondur. Tam çözümlemenin yapılması olanaksızdır. Bazı basitleştirme varsayımları altında, bazı çözümlemeler yapılabilir. Örneğin, bilgi işaretinin yavaş değiştiği varsayılırsa; komşu darbelerin genişlikleri hemen hemen aynı olur. Bu koşul altında, modüle edilmiş işaret için yaklaşık bir çözümleme yapılır.

PWM dalgasını üretmek (modüle) için gerekli olan devre Şekil 4.13'te gösterilmiştir.

Burada kullanılan testere dişi üretecinin tepeden tepeye genliği, f(t) bilgi işaretinin maksimum genliğinden biraz büyük seçilir. Burada amaç, örnekten görüleceği üzere, bu testere gerilim, genlikten→zamana olan dönüşümün temelini oluşturmaktadır.



Şekil 4.13: PWM modülatör



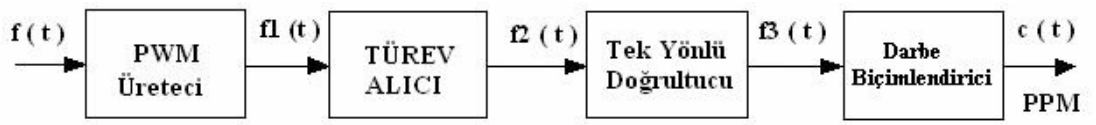
Şekil 4.14: PWM dalgasının elde edilişi

PWM için frekans bölgesi çözümlemesi yapılamadığından, kesin bir modülasyon yöntemi önermek de mümkün değildir. Ancak, darbe sürelerinin örneklenmiş bilgi işaretinin büyüklüğü (genliği) ile orantılı olması PWM işaretinin bir alçak geçiren süzgeçten geçirilerek demodüle edilebileceğini gösterir. Filtre çıktısı, modüle edilmiş dalga biçiminin (C(t)) altındaki alanla orantılı olur. C(t)'nin altındaki alan ise, darbe genişliği ile, dolayısıyla f(t) ile orantılıdır ve PWM işareti, bu yolla demodüle edilebilir.

4.2.4.3. Darbe Konumu Modülasyonu (PPM)

Darbe konumu (yeri) modülasyonu (Puls position modülation – PPM) ve PWM, birbirine çok yakın iki modülasyon türüdür. Genellikle PPM dalgası, PWM modülasyonundan sonra ilave işlemle üretilir. Aslında, PWM'nin kullanış alanlarından birisi de PPM üretimidir. PPM bilgi iletimi yönünden PWM'den daha üstündür.

PWM ve PPM'nin her ikisinde de değiştirilen nicelik darbelerin zamanları ile ilgili olduğundan, bu modülasyon türleri ortak olarak darbe zaman modülasyonu (PTM) diye adlandırılır. PPM'de örnek değerler büyüdükçe, buna karşılık gelen darbelerin yeri, modüle edilmemiş durumdaki yerlerine göre daha çok sapar. PPM işaretinin üretimi aşağıda gösterilmiştir:

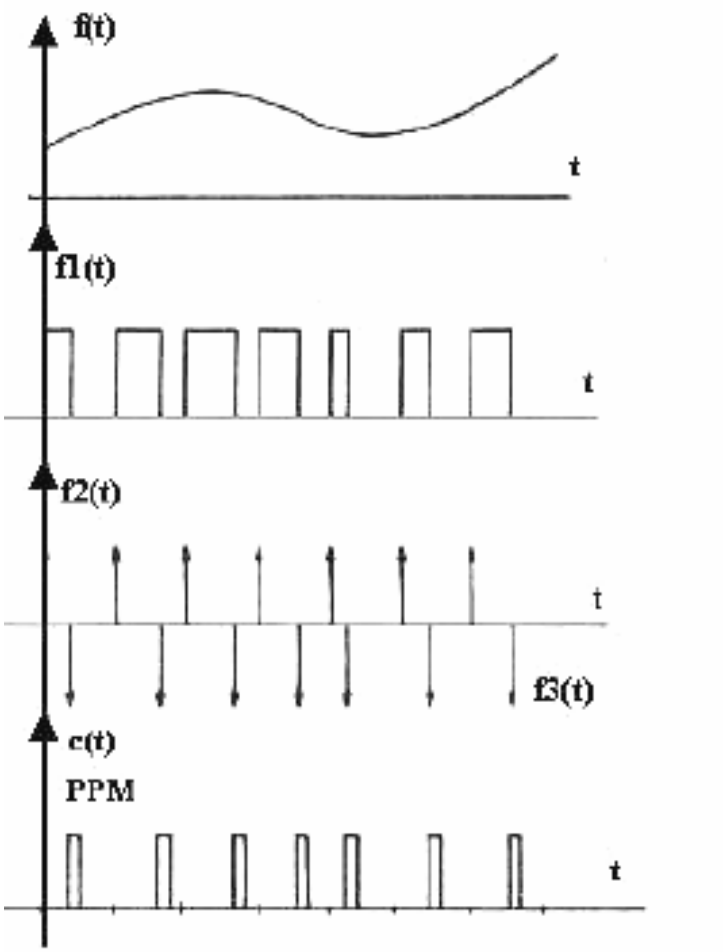


Şekil 4.15: PPM'nin elde edilmesi

Şekil 4.16'da da görüldüğü gibi, PWM dalgasının türevi alınır. Daha sonra oluşan artı ve eksi impuls dizileri elde edilir. Artı impulslar PWM darbelerinin arka kenarını göstermektedir. İki impuls arasındaki süre, PWM dalgasının darbe genişliğine eşittir.

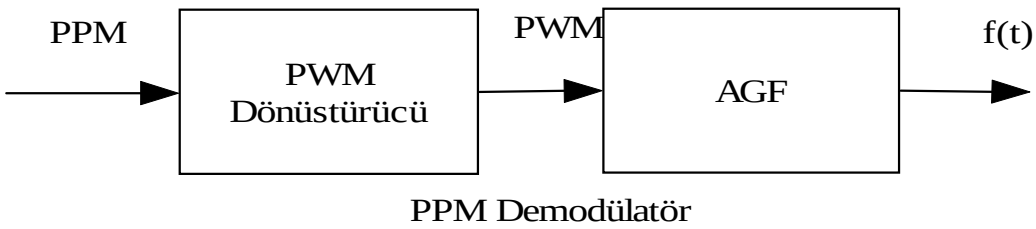
Bu durumda, darbelerin başlangıç anları eksi impulslarla belirlenen bir darbe dizisi üretilirse, elde edilen darbe dizisinde her darbenin referans noktasına göre yeri, örnek değerlerin büyüklüğü ile orantılıdır. Bu nedenle, bu şekilde elde edilen darbe dizisi bir PPM işaretidir.

Doğrusal olmayan bir modülasyon olması nedeni ile, PPM işaretinin frekans bölgesi çözümlemesi çok karmaşıktır. Bu nedenle, burada bu çözümleme yapılmayacaktır.



Şekil 4.16: PPM dalgasının elde edilişi

PPM işaretinin demodülasyonu çeşitli biçimlerde yapılabilir. Bunlardan birisi, PPM işaretinden PWM işaretini üretmek ve daha sonra bir AGF kullanarak, bu PWM işaretini demodüle etmektir.



PPM Demodülatör

Şekil 4.17: PPM demodülatörü

4.2.4.4. Darbe Modülasyonunun Üç Türünde (PAM, PWM, PPM) Gürültünün Etkisi

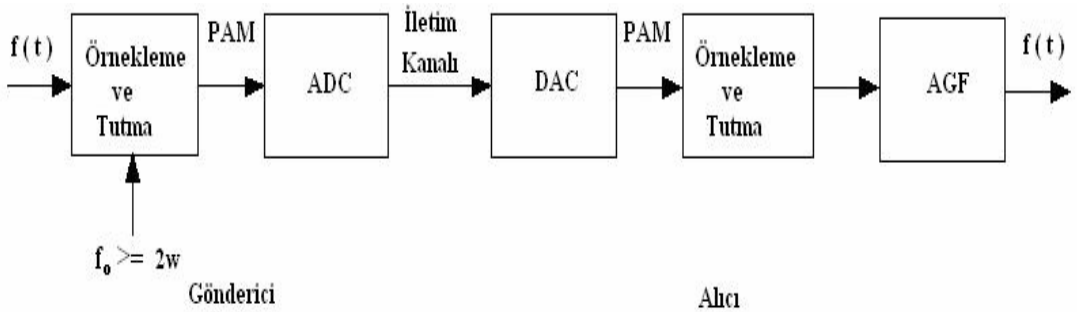
Gürültü altında PWM ve PPM'nin başarımlarının PAM'a göre daha iyi olduğu söylenebilir. Bunun nedeni; PWM ve PPM işaretlerinde, darbe genliğinin sabit olup, örnek değerlerle ilgili olmamasıdır. Çünkü darbe genliği, gürültüye karşı duyarlıdır ve kolayca bozulmaya uğrar.

Burada söz konusu olan gürültü altındaki başarım üstünlüğü, GM ve FM karşılaştırıldığında görülen üstünlüğe benzer. FM'nin gürültü altındaki başarımının daha iyi olması için ödenen bedel, kullanılan bant genişliğinin daha büyük olmasıdır. PWM ve PPM'de ise ödenen bedel, modüle edilmiş işaretin üretilmesindeki ve demodüle edilmesindeki zorluklardır. PPM'nin başarımı ise PWM'ye göre daha iyidir. Bunun nedenini şöyle açıklayabiliriz; her iki modülasyon türünde de bilgi, darbelerin kendilerinde değil, darbelerin kenarlarında taşınır. PPM, darbeyi değil de yalnız kenarı göndermeye daha yakındır. Bu nedenle, en azından güç açısından PPM'nin PWM'ye göre daha verimli olduğu söylenebilir.

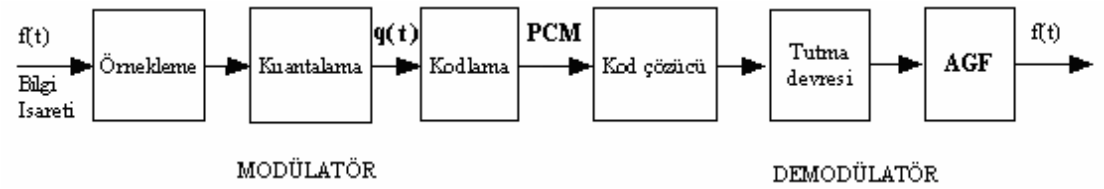
Şimdiye kadar incelenen darbe modülasyonlarının (PAM, PWM, PPM) yanı sıra, darbe kod modülasyonu diye adlandırılan başka bir darbe modülasyonu da mevcuttur. PCM'nin gürültüye duyarlı olmaması, üretiminin ve demodülasyonunun daha kolay olması gibi üstünlükleri vardır.

4.2.5. Darbe Kod Modülasyonu (PCM)

Darbe kod modülasyonu (Pulse- Code-Modulation) daha önce bahsi geçen darbe modülasyonu teknikleri (PAM, PWM, PPM), arasında tek sayısal iletim sistemi tekniğidir. PCM'de darbeler, sabit uzunluk (genişlik) ve sabit genliktedir. PCM ikili bir sistemdir. Önceden belirlenmiş bir zaman bölmesi içinde bir darbenin bulunması ya da bulunmaması, 1 ya da 0 mantık durumunu gösterir. PWM; PPM ya da PAM'da, tek bir darbe, tek bir ikili sayı (bit) göstermez. PAM'da örneklenen bildiri işareti genlikleri olduğu gibi iletilmektedir. Ancak bu işaret genlikleri kodlanarak da iletilebilir. Bu durumda PCM elde edilir. Aşağıda tek – kanallı (simpleks, tek yönlü) bir PCM sisteminin basitleştirilmiş blok diyagramı görülmektedir.

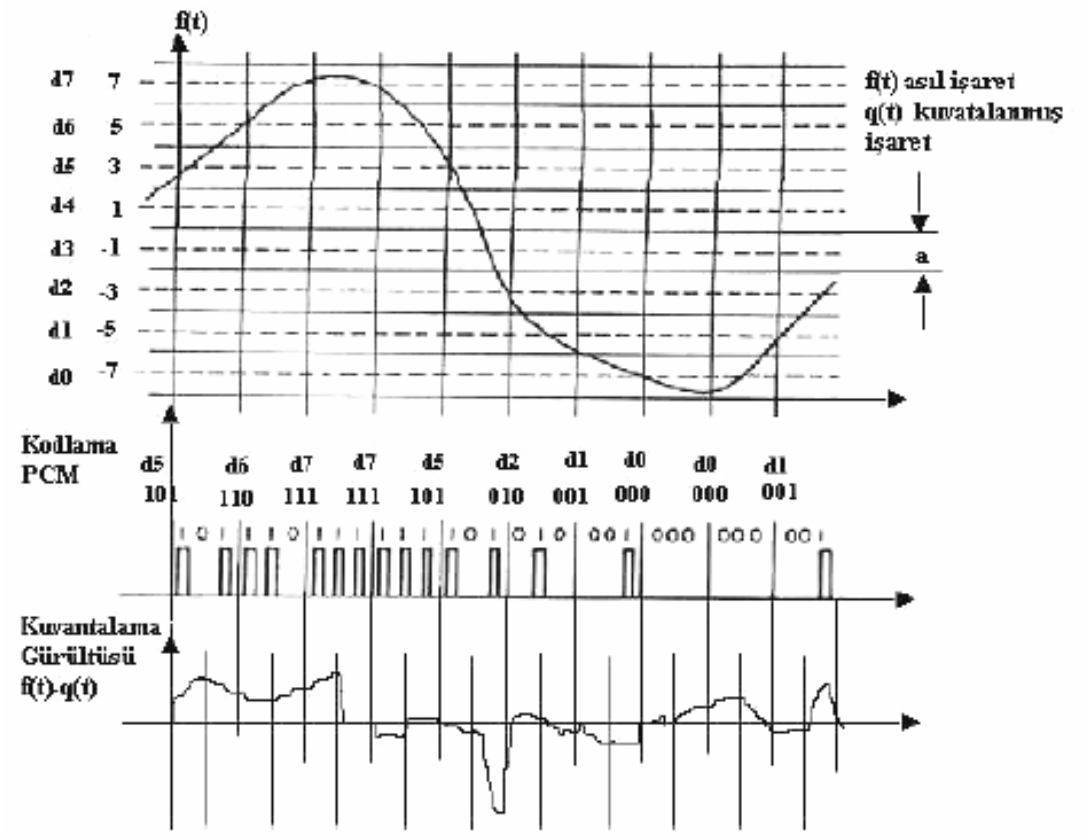


Şekil 4.18: Basit bir PCM sisteminin blok diyagramı



Şekil 4.19: Tek kanallı genel PCM sistemi

PCM'de f(t) bilgi işareti önce uygun bir örnekleme frekansı ile örneklenir. Örneklenmiş bilgi işaretinin genlik değerlerinin kodlanabilmesi için daha sonra kuantalama yapılır. Son olarak da, her kuanta seviyesi bir ikili kod kelimesiyle, yani sonlu sayıda (0.1) dizisiyle gösterilir. İkili kod kelimeler dizisine dönüştürülen bu işarete PCM dalgası denir.



Şekil 4.20: Kuantalanmış örnek değerler ve PCM dalga biçimi

4.2.5.1. Kuantalama

Bir işaretin kuantalanması demek; işaretin alabileceği en küçük genlik ile en büyük genlik arasını basamaklara ayırmak ve işaretin bu basamaklar yaklaşığını elde etmektir.

Kuantalama ile, örneksel biçimde bulunan ve bu yüzden sonsuz sayıda genlik düzeyine sahip olan bir işaret, sayısal biçimli yani sonlu sayıda genlik düzeyine sahip bir işarete döndürülmektedir. Kuantalanmış bir işaretin herhangi bir andaki değeri, asıl işaret değerine eşit değildir. (Eşit olma olasılığı çok küçüktür.) Ancak asıl işaretten en fazla a/2 kadar farklı olabilir.

Kuantalama gürültüsü: Yukarıda belirtilen nedenlerle kuantalama işlemi, işarete gürültü etkisine benzer bir etki yapmaktadır. Bu etkiye "kuantalama gürültüsü" denir. İşarete eklenen gürültü, her değeri alabileceği hâlde kuantalama gürültüsü işareti en fazla a/2 kadar değiştirilebilmektedir.

Kuantalama gürültüsünün etkin değeri : Asıl işaret ile kuantalanmış işaret arasındaki farka x denilsin: x(t) = f(t) – q(t) olup –a/2 < x < a/2 arasında değişir.

$$X(t)_{etkin} = \sqrt{\frac{1}{a}\int_{\frac{-a}{2}}^{\frac{a}{2}} X^2 dX} = \sqrt{\frac{a^2}{12}} = \frac{a}{2\sqrt{3}} \qquad (4.6)$$

bulunur. m işaretin (f(t)) kaç düzeyde kuantalandığını göstermek üzere (Yukarıdaki örnekte m= d0, d1.....d7 →8 düzeyde) işaretin tepe değeri = m.a olur.

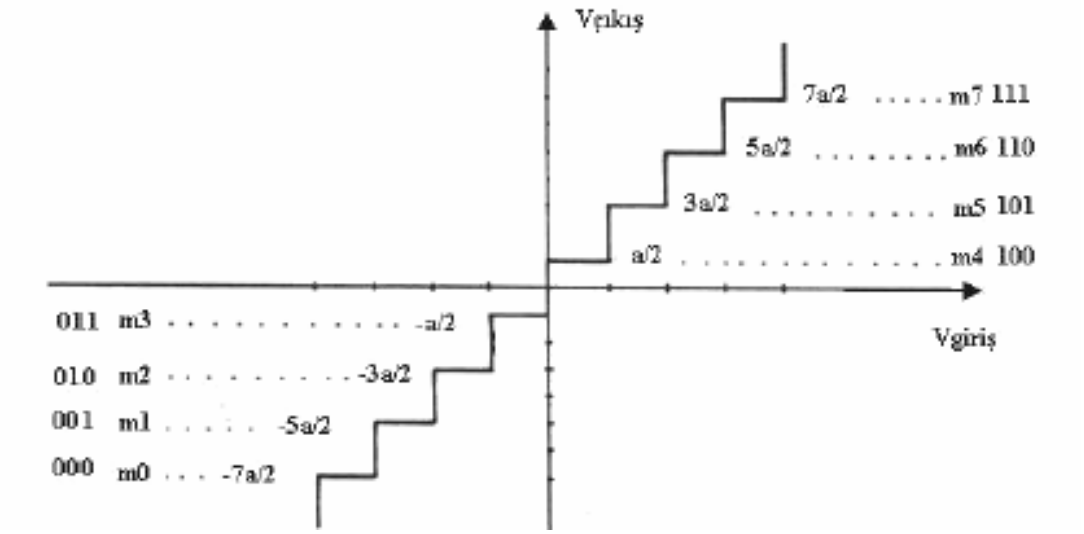
İşaretin tepe değeri gücünün kuantalama gürültüsüne oranı ise;

$$\frac{P_T}{P_K} = \frac{I_T^2.R}{I_K^2.R} = \frac{(m.a)^2}{\left(\frac{a}{2\sqrt{3}}\right)^2} = \frac{m^2.a^2}{\frac{a^2}{12}} = 12m^2 \qquad (4.7)$$

olarak bulunur. Buradan "işaret gücü/gürültü gücü=" (S/N) oranının m² ile artığı görülmektedir. Sabit (eşit) işaret, tepe değeri için m arttıkça a küçülmekte ve kuantalanmış işaret de asıl işarete yaklaşmaktadır. Buna karşılık, bir örnek belirlemek için kullanılması gerekli bit sayısı da artacaktır.

Kuantalama Türleri

- **Düzgün kuantalama:** Yukarıda bahsedilen kuantalama, düzgün kuantalama olup, aşağıda bu 8 düzeyli bir kuantalayıcının giriş-çıkış eğrisi Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21: Düzgün kuantalama

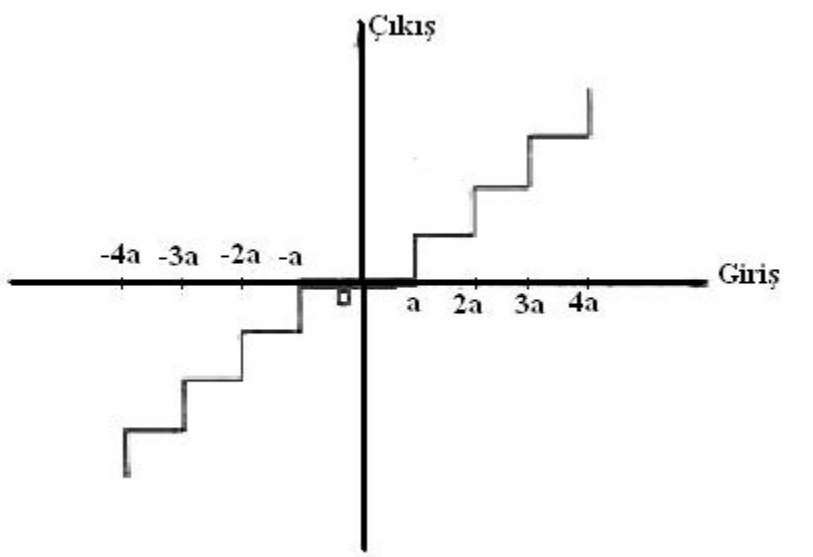
Yukarıdaki S/N=12.m² oranından görülebileceği gibi, kuantalama düzeyini artırırsak, işaret asıl işarete daha çok benzemekle, buna karşılık bir örneği belirlemek için kullanılan bit sayısı da artacaktır. Bu, düzgün kuantalamanın dezavantajıdır.

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Sinyal}}{\text{Noise}}$$

f(t) işaretinin maksimum ve minimum genlikleri A_{max} ile $-A_{max}$ arasında değişiyorsa ve bu aralıktaki değişen genlik değerleri m = 2n adet eşit düzeye (kuantaya) bölünmek isteniyorsa, kuantalama aralığı veya adımı aşağıdaki denklem ile tanımlanır:

$$a = \frac{2A_{max}}{2^n} \qquad (4.8)$$

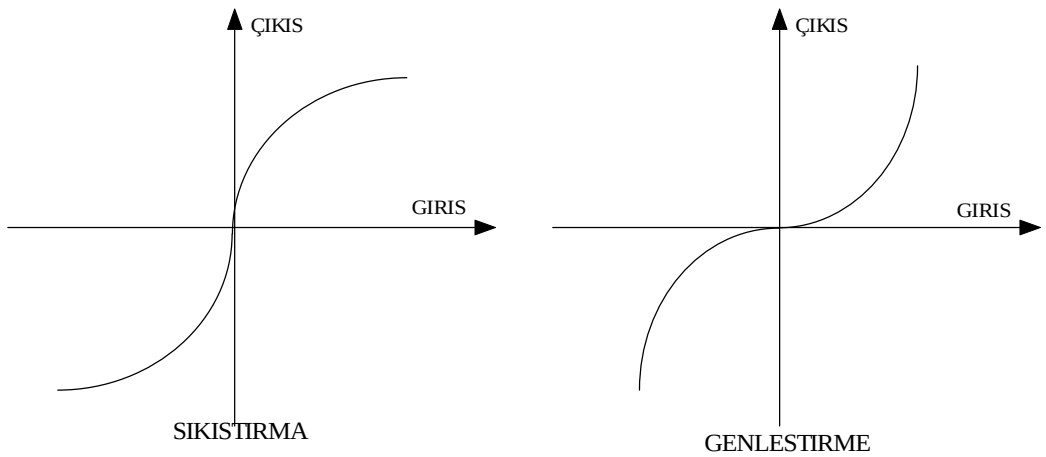
- **Boş kanal gürültüsü:** Şayet bilgi işareti f(t)'nin maksimum genliği Amax < a/2 ise, kuantalama gürültüsü işaretten daha büyük olur. Bu durum, özellikle kanal boş olduğu zaman çok rahatsız edicidir. Boş kanal gürültüsünü önlemek için, kuantalama eğrisi aşağıdaki gibi, ortası yatay olacak şekilde, yeniden ayarlanır. Bu yeni kuantalamada, f(t) a'dan küçükse, daima sıfır çıktısı elde edilir.



Şekil 4.22: Boş kanal gürültüsünü önleyici kuantalama

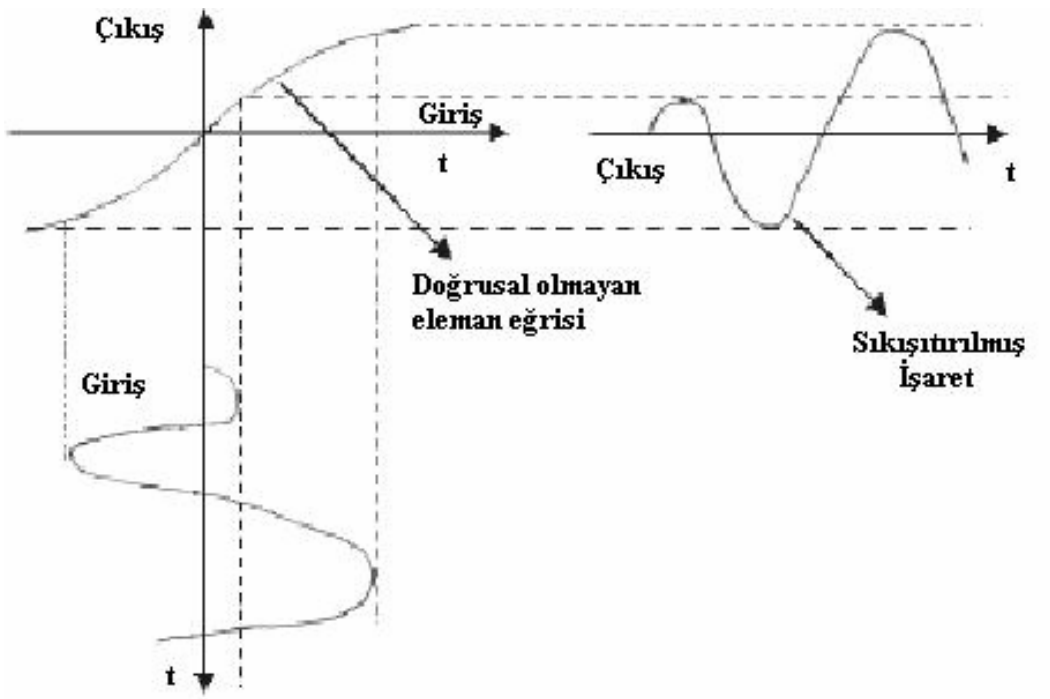
- **Düzgün olmayan kuantalama:** Ses işaretlerinin istatistiksel olarak incelendiği küçük genliklere daha sık rastlandığını görmekteyiz. Oysa yukarıda küçük işaretlerde kuantalama gürültüsünün rahatsız edici boyutlarda olacağını göstermiştik. Bu gürültüyü azaltmak için başvurulacak yöntem, adım büyüklüğünün azaltılması veya kuantalanan düzey sayısının artırılmasıdır. Ancak, bu durumda her bir örneği göstermek için, kullanılması gereken bit sayısı artacağından, bu yöntem her zaman uygun ve ekonomik değildir. Diğer taraftan, çok seyrek olarak ortaya çıkan yüksek genlikli işaretler için, gereksiz yere bir miktar kuantalama düzeyi ayrılmış olacaktır. Eğer en büyük genliği küçük tutarsak, bu defa da kırpılmalar meydana gelecektir.

Bununla beraber, büyük işaretler için büyük adım, küçük işaretler için de küçük adım kullanılarak, işaret gürültü oranının aynı olması sağlanabilir. Bunu gerçekleştirmek için, haberleşme sistemlerinde bir sıkıştırma (compressing) yapılmaktadır. Aşağıda, bu sıkıştırma ve genleştirme (expanding) işlemlerinin lineer olmayan karakteristikleri görülmektedir.



Şekil 4.23: Sıkıştrıcı ile genleştiricinin giriş-çıkış öz eğrileri

Vericide bir sıkıştırma yapılmışsa, alıcıda da genleştirme yapılmalıdır.



Şekil 4.24: Bilgi işaretlerinin büyük genlik değerlerinin sıkıştırılması

Bazı sistemlerde sıkıştırma işlemi, doğrudan analog ses işareti üzerinde yapılır. Yukarıda gösterilen sistemde, işaret seviyesi yaklaşık olarak, kodlayıcının genlik seviyesine yakın tutulmaktadır. Böylece, kuantalama düzeylerinin büyük çoğunluğunun kullanılması sağlanarak, belirli bir kuantalama seviyesi sayısında sistemin en iyi biçimde çalışması gerçekleştirilir.

4.2.5.2. Kodlama

Örneklenmiş analog işaret kuantalandıktan (nicemlendikten) sonra, sayısal işarete dönüştürmek için kodlaması gerekmektedir. Genellikle bir analog işareti, sayısal işarete dönüştürmek için ADC kullanılır. Bu dönüştürme işlemi sonucunda, kodlanmış işaret elde edilmektedir.

Ancak, bu kodlama düzgün (üniform) bir kuantalama sonucu elde edilen genliklerin kodlanması olup, düzgün olmayan kuantalama sonucu bulunan örneklerin kodlaması için, ikinci bir kodlama işlemine ihtiyaç olacaktır.

Uygulamada kullanılan ADC tipleri üç gruba ayırmak mümkündür:

1. Basamaklı dönüştürücü
2. Ardışıl yaklaşımlı dönüştürücü
3. Paralel dönüştürücü

Değişik tekniklerle çalışan bu ADC dönüştürücüleri, tümleşik devreler biçiminde piyasada bulmak mümkündür. Bu tip entegreler, genellikle örnekleme, kuantalama ve kodlama birlikte gerçekleştirilir.

Basamaklı Dönüştürücü

Bu dönüştürücü tipinde, giriş işareti VA, örnekleme süresi Ts içinde D/A çıkışındaki VB gerilimiyle karşılaştırılır. Eğer VA > VB ise, karşılaştırıcı çıkışı L-1 olup VE kapısı açıktır. Bu durumda gelen cp'ler(saat darbeleri) sayıcıya ulaşır ve sayıcı saymaya devam eder. D/A çıkışındaki gerilim, her basamak geldiğinde bir basamak yükselir. Bir süre sonra VB gerilimi VA giriş işaretini geçecektir. Tam bu anda karşılaştırıcı çıkışı, sıfıra düşer ve kapı kapanır. Artık sayma işlemi durmuştur. Bu andaki Q çıkışları giriş gerilimine karşı düşen kodu verecektir.

Örnekleme süresi dolduğunda, sayıcı sıfırlanır ve ikinci örnek için de aynı işlemler tekrarlanır.

Bu tip dönüştürücülerde bir örnek için dönüştürme süresi n-bitlik kodlayıcı için şöyle hesaplanır:

$$t_{kodlama} = \frac{2^n}{f_{cp}} \qquad (4.9)$$

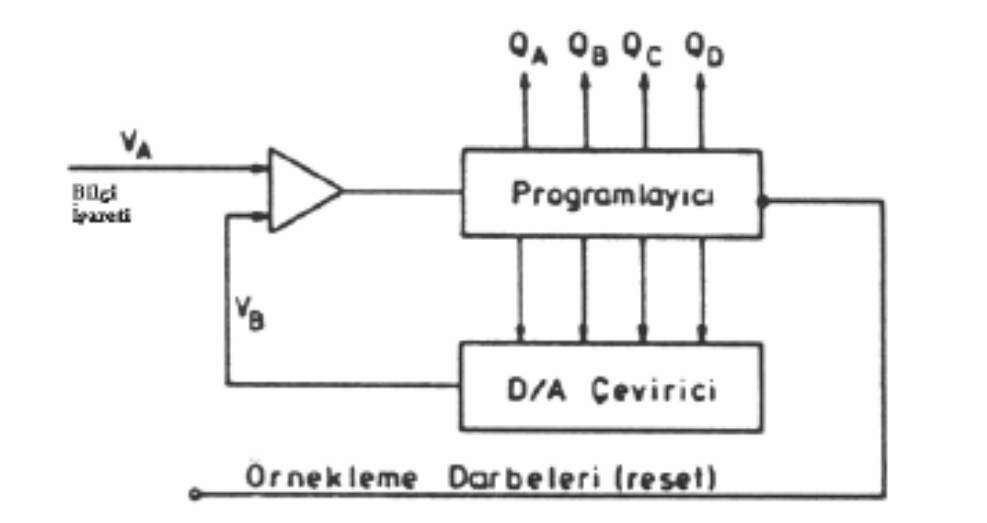
Bu dönüştürücü oldukça yavaş çalışır.

Ardışıl Yaklaşımlı Dönüştürücü

Aşağıda gösterilen bu dönüştürücü, basamaklı dönüştürücüye benzemektedir (benzer çalışmaktadır).Ancak kodlama süresi çok daha kısadır.

$$t_{kodlama} = \frac{2^n}{f_{cp}} \text{ yerine } t_{kodlama} = \frac{n}{f_{cp}} \text{ olarak}$$

gerçekleşir. Burada sayıcı yerine bir programlayıcı kullanılmaktadır. Programlayıcı, karşılaştırıcı devresi çıkışına bakarak, çıkış kodunu artırır veya azaltır.



Şekil 4.25: Ardışıl yaklaşımlı dönüştürücü

Bu yöntem düzgün olmayan kuantalamaya uygulanabilir. Bu amaçla, değiştirme adımları logaritmik seçilerek VA'nın hangi parçada olduğu belirlenir. Parça belirlendikten sonra, ait olduğu dilimi bulmak için analog ağırlık verme devreleri kullanılır.

Paralel Dönüştürücüler

Bu dönüştürücüler oldukça karmaşık ve pahalı olmalarına karşılık çok hızlı çalışabilirler. Bütün dönüştürme işlemi tek adımda yapıldığından bunlara "flaş dönüştürücüler" adı verilir. Paralel dönüştürücünün çalışma prensibi çok basittir. Her kuanta dilimi için ayrı bir karşılaştırıcı kullanılarak giriş geriliminin hangi dilimde olduğu kestirilir. Geriye kalan işlem, bu 2^n adet çıkışı bir mantık devresiyle (2^n x n encoder) n basamaklı bir koda çevirmektir. Bu çevirme, hızlı kapı devreleriyle kolaylıkla yapılabilir.

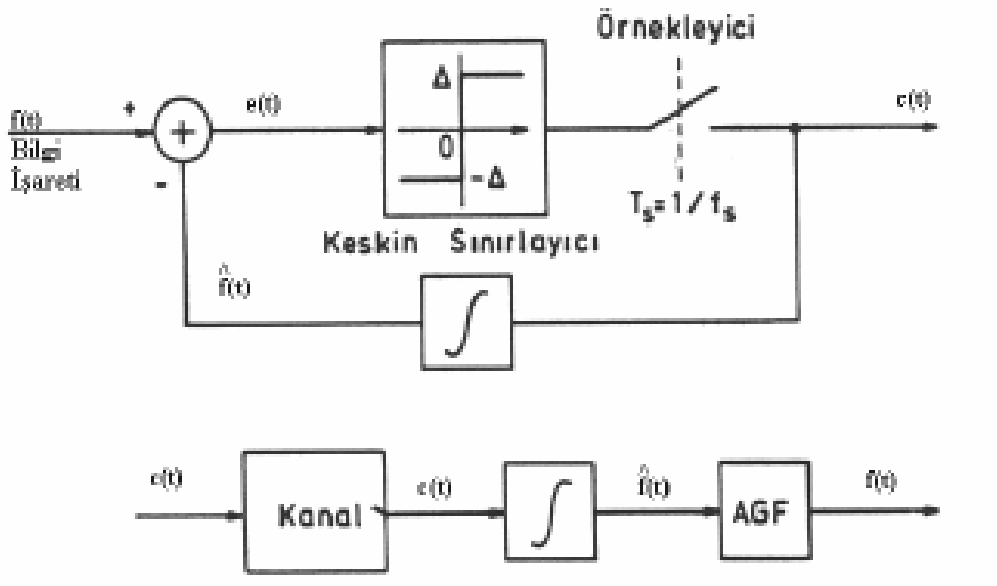
4.2.6. Delta Modülasyonu

Delta modülasyonu bir PCM türüdür. DM'de işaret her örnekleme döneminde en fazla bir (1) kuantalama basamağı kadar değişir (artar veya eksilir). Böylece asıl işaretin bir yaklaşığı elde edilmiş olur.

DM analog sinyallerin iletimi için, tek bitlik bir PCM kodu kullanır. Klasik PCM'de, her kod bir örneklemenin hem işaretinin hem de büyüklüğünün ikili temsilidir. Dolayısıyla, örneklemenin olası değerlerini temsil etmek için çok – bitlik bir kod gerekir. DM'de örneklemenin kodlanmış halini göndermektense, örneklemenin bir öncekinden daha mı büyük, yoksa daha mı küçük olduğunu belirten tek bir bit gönderilir. Bir delta modülasyonu sisteminin algoritması, oldukça basittir. Eğer gönderilecek örnekleme bir öncekinden daha küçükse, L-0 mantık konumu iletilir. Eğer gönderilecek örnekleme bir öncekinden daha büyük ise, L-1 mantık konumu iletilir.

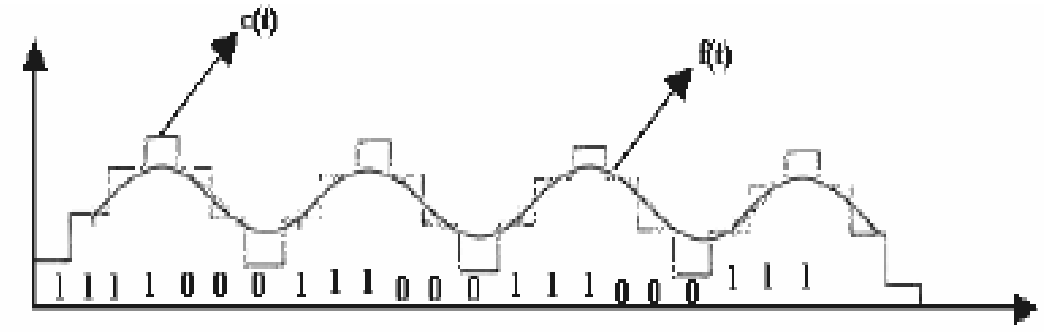
4.2.6.1. Doğrusal Delta Modülasyonu

Doğrusal delta modülasyonuna ait blok diyagram alıcı-verici olarak Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.26: Doğrusal DM (verici - alıcı)

Şekilde f(t) ile geri besleme yoluyla elde edilen f'(t) (yaklaşık f(t) işareti) arasında farka e(t)'ye göre keskin sınırlandırıcı çıkışında ikili çıkış darbeleri üretilmektedir. Yani, çıkış iki seviyeden birine kuantalanır. Keskin sınırlandırıcı çıkışı örneklenerek belirli çıkış darbeleri elde edilir.

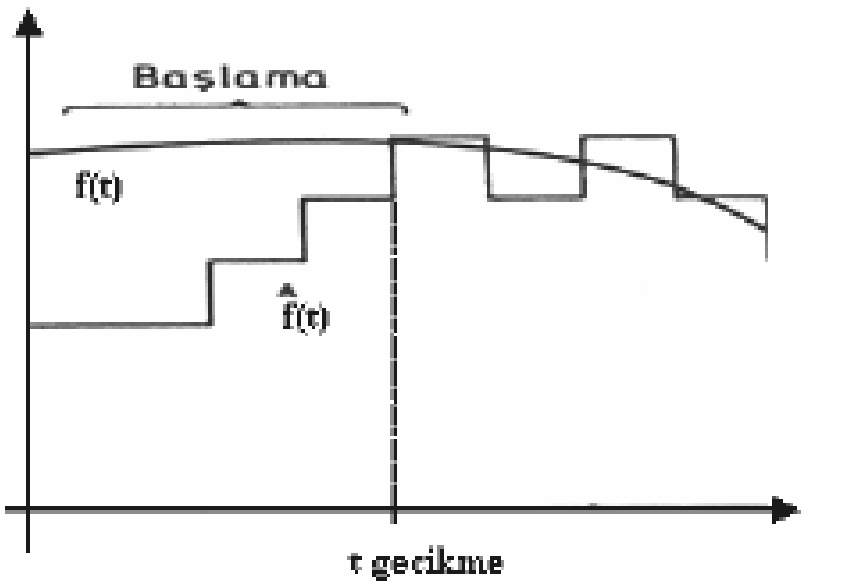


Şekil 4.27: DM'li ideal bir çıkış

Delta modülasyonunun kodlaması PCM'ye oranla, daha kolay gerçekleştirilebilir. DM için gereken bant genişliği, PCM'den "n" kat daha azdır. Çünkü, PCM'de bir örnekleme döneminde "n" ikili vuruş iletilirken, DM'de bir adet (bit) ikili bilgi (0 veya 1) darbesi iletilmektedir. Ancak DM'de klasik PCM'de olmayan üç problem vardır :

- **Başlama Süresinin Gecikmesi**

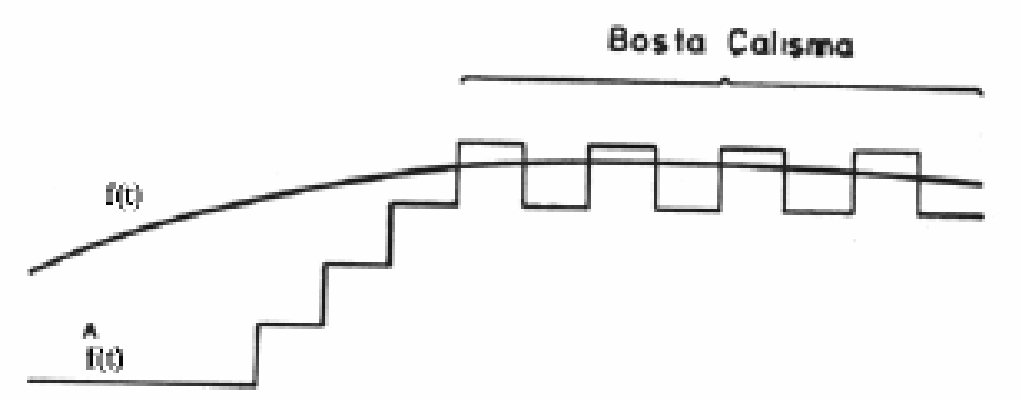
Başlangıçtaki f(t) işaretine f'(t) işaretinin yetişmesi için, birkaç basamaklı bir süre gereklidir. Buna başlama süresi (start up period) adı verilmektedir.



Şekil 4.28: Başlama süresi gecikmesi

- **Boşta Çalışma (Kuantalama, Tanecik) Gürültüsü**

f(t) sabit kaldığında, f'(t)'nün bir artı, bir eksi basamaklarla f(t)'yi izlemeye çalıştığı görülmektedir. Aşağıda gösterilen bu duruma, boşta çalışma (tanecik) gürültüsü (idling noise) adı verilir.



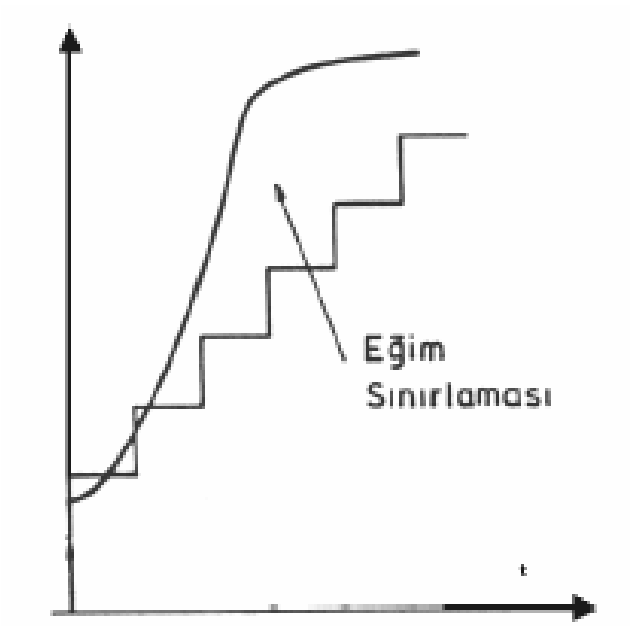
Şekil 4.29: Boşta çalışma gürültüsü

Tanecik gürültüsünü azaltmak için, adım büyüklüğünü azaltmak yoluyla düşürülebilir. Dolayısıyla, tanecik gürültüsünü azaltmak için, küçük çözünürlük değeri gerekmektedir.

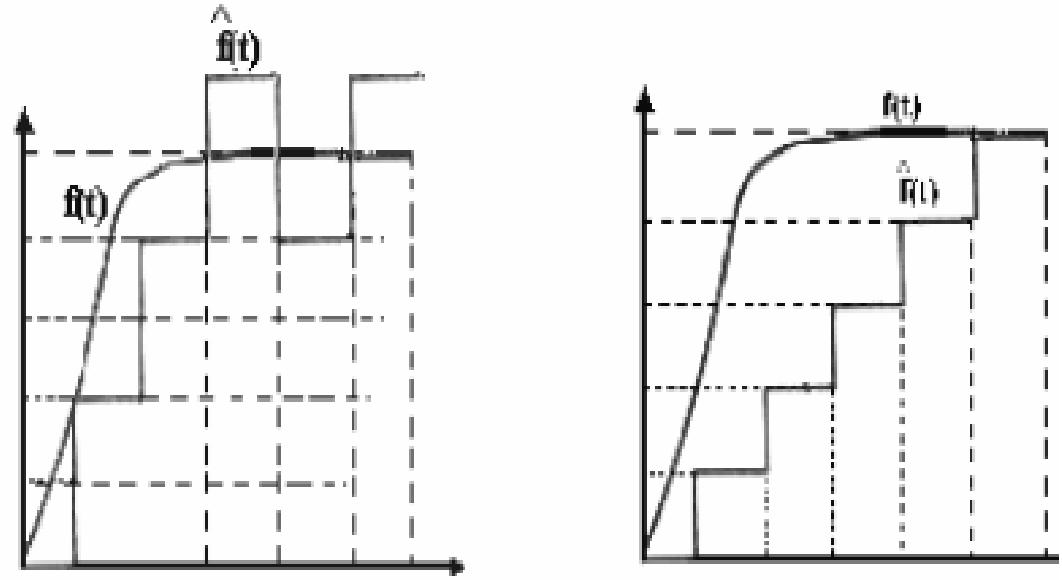
- **Eğim Sınırlaması**

f(t) hızlı değiştiğinde f'(t) sadece Δ kadar değişebildiğinden f(t)'yi izleyemez. Bu durum eğim sınırlaması (slope – overload) olarak adlandırılır.

Şekil 4.30'da görülen bu sınırlamayı azaltmak için, adım büyüklüğünü artırmak, dolayısıyla büyük çözünürlük değeri gerekecektir. Bu durumda da tanecik gürültüsü artacaktır. Dolayısıyla bu iki kısıtlama göz önüne alınarak çözünürlük değeri seçilir.



Şekil 4.30: Eğim sınırlamasının yol açtığı bozulma



Şekil 4.31: a) Küçük adımlı kuantalama **b) Büyük adımlı kuantalama (çözünürlük)**

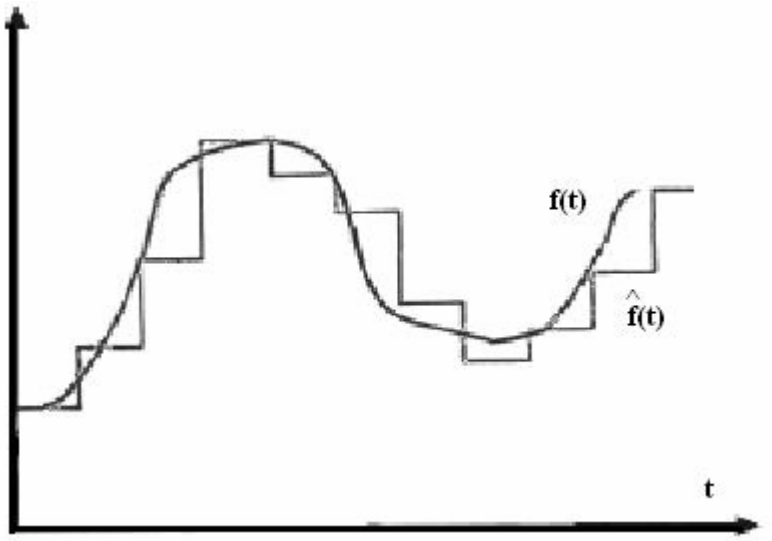
4.2.6.2. Adaptif (Uyarlamalı) Delta Modülasyonu

DM'nin uygulamadaki kolaylıkları yanında bazı eksikliklerini görmüş bulunuyoruz. Örneğin, doğrusal delta modülasyonundaki sabit basamak boyu (Δ), eğim sınırlaması, başlama süresi ve boşta çalışma gürültüsü bu olumsuzluklardan bazılarıdır. Örnekleme hızı fs, sabit tutulursa, eğim sınırlamasını önlemek için Δ'yı büyütmek gerekir. Ancak bu durumda kuantalama gürültüsü de boşta çalışma gürültüsüyle birlikte artacaktır. Δ küçük tutulduğunda ise, eğim sınırlamasını önlemek için, örnekleme frekansını artırmak gerekir. fs'nin arttırılması da DM'li işaretin iletim bant genişliğinin artmasına neden olacaktır.

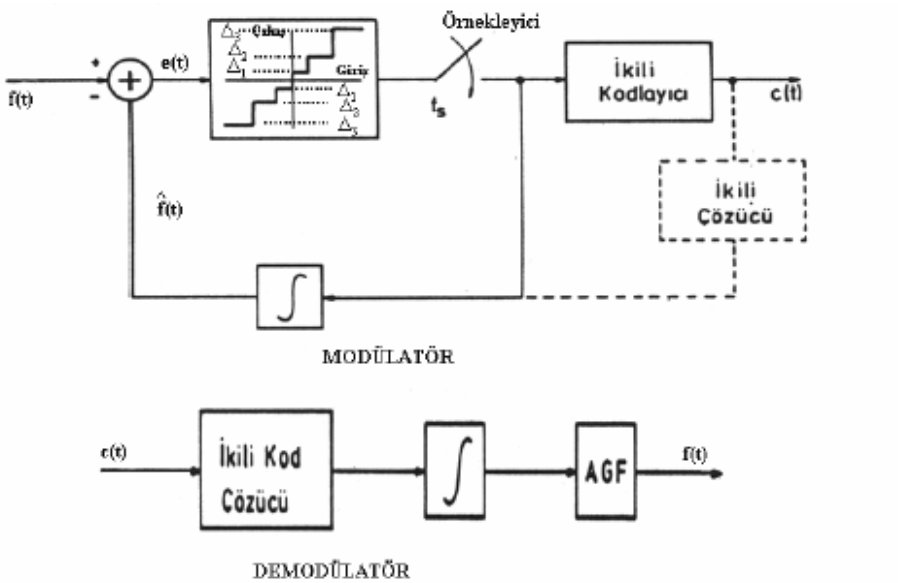
Yukarıdaki açıklanan sorunlara bir çözüm olarak basamak boyu Δ'nın genliği f(t) – f'(t)'nin farkına bağlı olarak değiştirilir. Böylece örnekleme frekansını artırmadan f'(t)'nin bilgi işareti f(t)'yi daha yakından izlemesi sağlanabilir:

f(t)-f'(t) küçüldüğünde Δda küçüleceği için, boşta çalışma gürültüsü azalacaktır. f(t)-f'(t) büyürken de Δ büyüyeceğinden eğim sınırlaması önlenmiş olacaktır. Basamak boyunun değişken olduğu bu modülasyon yöntemine adaptif delta modülasyonu denir.

Şekil 4.26'daki doğrusal DM blok diyagramında iki seviyeli (±Δ) keskin sınırlayıcı yerine başka bir doğrusal olmayan eleman konulur. Aşağıdaki Q – seviyeli (±Δ1, ±Δ2, ±Δ3,...±ΔQ) keskin sınırlayıcılı bir adaptif DM sistemi görülmektedir.



Şekil 4.32: Uyarlamalı DM



Şekil 4.32: Q seviyeli adaptif DM modülatör ve demodülatör

Bu sistemin çıkışı, ikili bir darbe dizisi olmayacaktır. Şekildeki eleman için Q- değişik değer alabilen darbelerden oluşan bir darbe dizisi olacaktır. Bu adaptif DM'de herhangi bir değişiklik yapılmazsa, kanala ikili bir dizi yerine, Q'lu bir darbe dizisi gönderilir. Genellikle çok seviyeli işaretlerin bir iletim ortamından gönderilmesinde türlü zorluklar ortaya çıkmaktadır. Bu da işaret/gürültü (S/N) oranını artırmaktadır. Bunu önlemek için, Q- seviyeli darbe dizisini bir ikili dizi oluşturacak şekilde kodlamak gerekir. Bu kodlanan işaret kanala gönderilir.

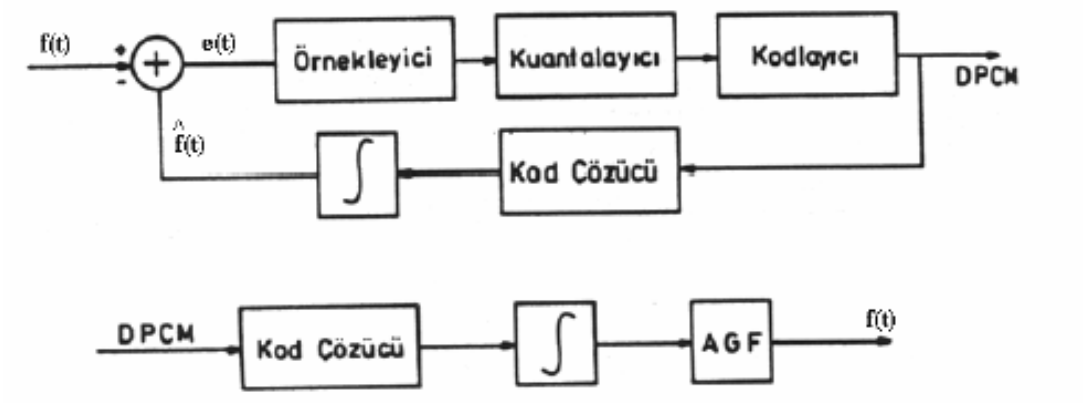
Doğrusal DM'ye göre daha üstün olan adaptif DM modülasyonunun olumsuz yanları şunlardır:

- Sistemde kullanılan kodlayıcı ve kod çözücülü sistemi karmaşıklığını artırır.
- Q-seviyeli dizinin, ikili dizi olarak kodlanması bant genişliğini artırır.

4.2.6.3. Diferansiyel PCM (DPCM)

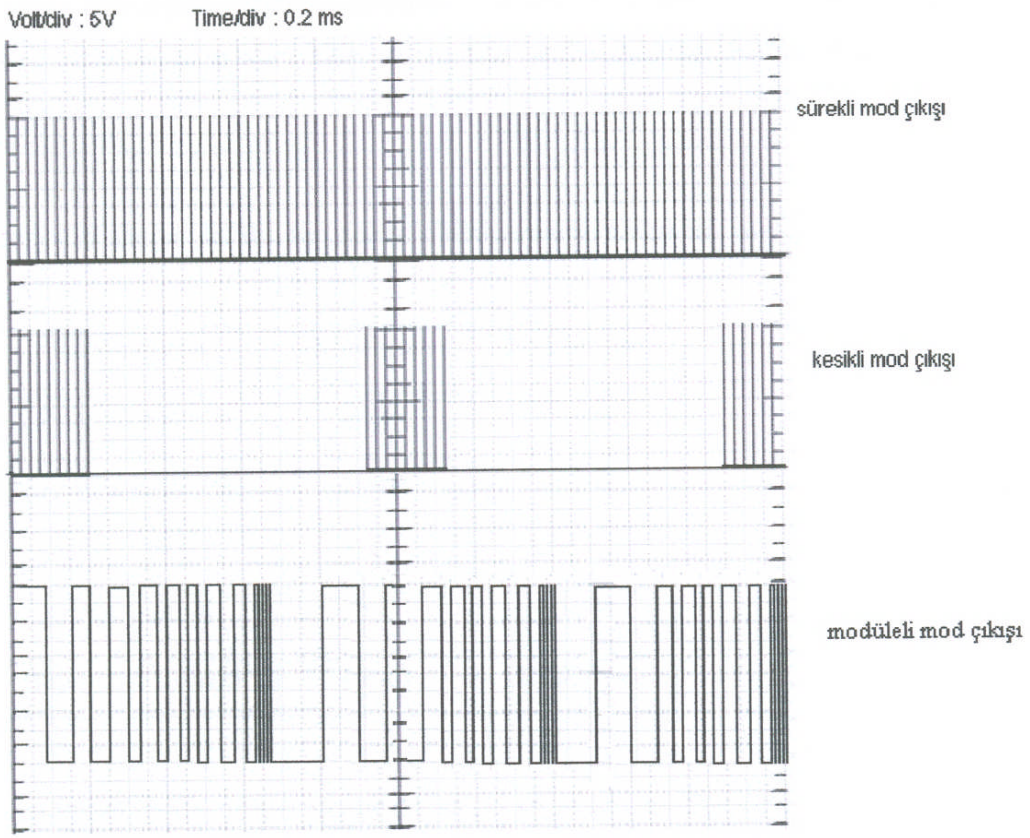
Tipik PCM kodlanmış bir bilgi dalga biçiminde birbirini izleyen örneklemelerde, iki örneklemenin genliği arasında az bir farkın bulunması, sık karşılaşılan bir durumdur. Bu da birçok birbirine benzer PCM kodunu iletme olasılığını artırır; benzer kodları iletmek, fazladan yapılan bir şey olur. DPCM, örneklemeler arasındaki benzerlikten yararlanmak üzere tasarlanmıştır. DPCM'de örnekleme yerine, iletilecek örneklemeyle bir önceki örnekleme arasındaki fark iletilir. Örneklemelerin aralarındaki fark aralığı, tek tek örneklemelerin aralığından daha az olduğu için, DPCM'yi iletmek için PCM'yi iletmeye oranla daha az bit gerekir.

Bu sisteme, delta modülasyonu ile PCM karışımı olduğu için diferansiyel PCM (DPCM) adı verilir. DPCM işareti, f(t)-f'(t)=e(t) fark işaretinin bir PCM işareti olarak gösteriminden başka bir şey değildir. Ancak, burada adım boyutları değişkendir. ±Δ, ±2Δ,.....±QΔ arasında değişir. Q kuanta seviyesini gösterir. Bu nedenle, f'(t) işareti f(t)'yı daha yakından izler.



Şekil 4.34: DPCM alıcı-verici

Bu modülasyon çeşitleri dışında biyomedikal cihazlarda kullanılan bazı modülasyonlar vardır. Örnek verecek olursak; fizik tedavide kullanılan bir tens cihazındaki modülasyon görüntüleri Şekil 4.35'te verilmiştir. Tıpta her modülasyon türü farklı bir amaç için kullanılabilir.



Şekil 4.35: Sürekli, kesikli ve modüleli modülasyon çıkışları

4.3. Ölçüm Yöntemleri

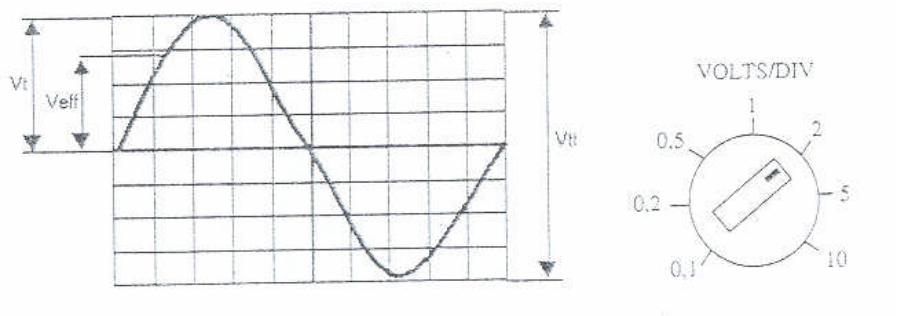
Elektriksel sinyallerin izlenmesinde ve sinyallerin bir takım değerlerinin ölçülmesinde osiloskop kullanılır. Osiloskop kullanımı, komütatör ve anahtarların görevleri hakkında detaylı bilgi, Elektriksel Büyüklüklerin Ölçülmesi modülünde anlatılmaktadır. Bu bölümde osiloskop ile gerilim ve frekans ölçme anlatılacaktır.

4.3.1. Osiloskop ile Gerilim Ölçmek

Osiloskop ile yüksek frekanslı sinyaller ve alternatif akım maksimum 400V'a kadar ölçülebilir. Gerilim ölçmeden önce kalibrasyon yapılması gerekir. Osiloskobun kalibrasyonu için ön panelde bulunan 2 voltluk kare sinyalden yararlanılabilir. Osiloskop probunu 2 voltluk kalibrasyon terminaline temas ettirdiğimizde, VOLTS/DIV komütatörü örneğin 1 konumunda ise ekran üzerinde 2 karelik sapma görülmesi gerekir. 2 karelik sapma bu gerilimin 2 V olduğunun göstergesidir. Bu durum osiloskobun kalibreli olduğunu gösterir.

Elektrik ve elektronikte AC gerilim değerini ifade etmek için genellikle efektif değer(rms değeri) kullanılır. Hâlbuki osiloskop ölçmelerindeki işaret büyükleri için tepeden tepeye gerilim (Vm) değeri kullanılır ki bu, işarete ait dalga şeklinin en pozitif ve en negatif olduğu noktalar arasındaki gerçek potansiyel farkına karşılık gelir.

Osiloskop ekranında görülen sinüzoidal bir dalga şeklinin efektif değeri bulunmak istenirse mevcut dalganın tepeden tepeye değerinin $2x\sqrt{2} = 2{,}83$ ile bölünmesi gerekir.



Şekil 4.36: Osiloskop ekranı

Vt=tepe değeri Veff=Efektif değer Vtt=Tepeden tepeye değeri

Uygulanan gerilimin büyüklüğü, seçilen sapma kat sayısı ile ekrandaki görüntünün boyunun cm olarak alınıp çarpılması ile bulunur. Eğer X10'luk bir alçaltıcı prob kullanılmışsa doğru değeri bulmak için bir kez de 10 ile çarpmak gerekir. Aşağıdaki değerler kullanılarak istenen değer hesaplanabilir. Osiloskop, AC gerilimin tepeden tepeye değerini ölçer. DC gerilimde ise y ekseni üzerinde gösterdiği kare ile VOLTS/DIV komütatörünün gösterdiği değer çarpılır.

H=Ekrandaki görüntünün cm cinsinden yüksekliği
U=Dikey girişteki Vt cinsinden işaret gerilimi
D=Alçaltıcı anahtardaki V/cm cinsinden sapma kat sayısı
U=D.H

Örnek:
Yukarıda gözüken sinyalde osiloskop ön panelinde VOLTS/DIV komütatörü 2V/cm kademesini gösterdiğine göre AC sinüs dalga şeklinin Umax. ve Uef değerlerini hesaplayınız.

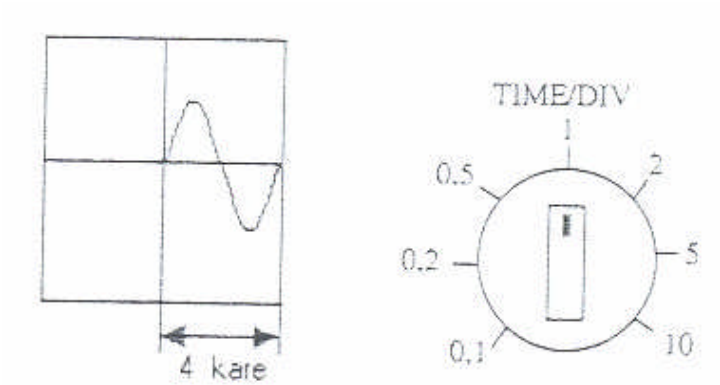
Çözüm:
Ayarlanan sapma kat sayısı D=2 V/cm
Ekranda görülen yükseklik H=4 cm
Bu değerlere karşılık gelen gerilim Umax=2.4=8 volttur.
Uef=Umax. 0,707 Uef=8.0,707 =5,656 V

Eğer prob X10 kademesinde kullanılıyorsa gerçek gerilimi bulmak için hesaplanan gerilimi 10 ile çarpmamız gerekir (U=8.10=80 V).

4.3.2. Osiloskop ile Frekans Ölçmek

Bir işaretin belli bir kısmının ne kadar zaman sürdüğü, o kısma ait olan zaman değeri (ekranda yatay uzunluğun cm cinsinden değeri) ile TIME/DIV anahtarının ayarlandığı zaman kat sayısı çarpılarak bulunur. Variable kalibreli pozisyon olan CAL'de (ok yatay sol tarafı gösterirken) bulunmalıdır.

L=Görüntüdeki dalganın bir periyodunun cm cinsinden uzunluğu
T=Bir periyot için saniye cinsinden zaman
F=İşaretin Hz cinsinden tekrar frekansı
Tc=Anahtarın üzerindeki s/cm cinsinden zaman kat sayısı
T=L.Tc



Şekil 4.37: Frekansı ölçülmek istenen sinyal

TIME/DIV. 1 ms'yi gösteriyorsa ve bir periyotluk şeklin X ekseni üzerinde kapladığı alan 4 karelik bir zaman dilimi ise frekans hesabı şöyle yapılır.

T=L.Tc T=4.1ms=4ms 4ms=4.10^{-3} s

F=1/T=1/4.10^{-3}=1000/4=250 Hz olarak frekans bulunur.

X.MAG.x10 düğmesinin basılı olması durumunda T değeri 10'a bölünmelidir.

Örnek:
Ekranda görülen dalga boyu L=10 cm,
Ayarlanan zaman kat sayısı Tc=0,5 μs/cm,
Bu değerlere karşılık gelen periyot T=10.0,5.10^{-6}=5 μs

Bu değerlere karşılık gelen frekans f=1/T f=1/5.10^{-6} =1000000/5=200 kHz

Eğer incelenen zaman aralığı bütün işaret periyoduna göre kısa ise, genişletilmiş bir zaman skalası uygulanmalıdır(X-MAG.X10 düğmesine basılarak).Bu durumda hesaplanan zaman değerleri 10 ile bölünmelidir.

UYGULAMA FAALİYETİ

Spektrum analizör cihazı ile tens cihazın kullanılan modülasyonlarını görmek.

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
➢ Spektrum analizörün problarını takınız. ➢ Spektrum analizörün sıfır ayarını yapınız. ➢ Kademeli tens cihazına probları bağlayınız. ➢ Spektrum analizör üzerinde modüleli darbe sinyallerini görüntüleyiniz. ➢ Kademeleri değiştirerek ölçümleri tekrarlayınız. ➢ Genlik ve frekans değişimleri ile modülasyon çeşitlerini görüntüleyiniz.	➢ Gerekli güvenlik önlemlerini alınız. ➢ Cihaz görüntü ayarlarını kontrol ediniz. ➢ Ölçümlerde hassas prob kullanınız.

PERFORMANS DEĞERLENDİRME

Aşağıda hazırlanan değerlendirme ölçeğine göre yaptığınız çalışmayı değerlendiriniz. Gerçekleşme düzeyine göre “Evet / Hayır“ seçeneklerinden uygun olan kutucuğu işaretleyiniz.

KONTROL LİSTESİ

Öğrenme faaliyetinde kazandığınız beceriler doğrultusunda spektrum analizör cihazı ile tens cihazın kullanılan modülasyonlarını tespit ediniz. Yaptığınız bu uygulamayı aşağıdaki tablo doğrultusunda ölçünüz.

DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
1. Spektrum analizörün problarını takınız mı?		
2. Spektrum analizörün sıfır ayarını yaptınız mı?		
3. Tens cihazına probları bağladınız mı?		
4. Ölçüm sonucunda sinyaldeki modülasyonları gözlemlediniz mi?		

DEĞERLENDİRME

Faaliyet değerlendirmeniz sonucunda “Hayır” seçeneğini işaretleyerek yapamadığınız işlemleri tekrar ediniz. Tüm işlemleri başarıyla tamamladıysanız bir sonraki faaliyete geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

OBJEKTİF TESTLER (ÖLÇME SORULARI)

1–4 numaralı soruların başında verilen boşluğa doğru ise D, yanlış ise Y harfi koyunuz.

1.( )Genlik modülasyonunda, bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak, taşıyıcı sinyalinin sadece genliği değiştirilir.

2.( )PWM işareti yaklaşık olarak, sürekli dalga (CW) modülasyonunun bir türü olan açı (frekans ve faz) modülasyonuna benzemektedir.

3.( )Kuantalanmış bir işaretin herhangi bir andaki değeri, asıl işaret değerine eşittir.

4.( )PWM ve PPM'nin her ikisinde de değiştirilen nicelik darbelerin zamanları ile ilgili olduğundan, bu modülasyon türleri ortak olarak darbe zaman modülasyonu (PTM) diye adlandırılır.

5-8 numaralı sorularda doğru seçeneği işaretleyiniz.

5. Taşıyıcı dalga frekansının, bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak değiştirilmesi sonucu oluşan modülasyon aşağıdakilerden hangisidir?

A)PPM B)PCM C)AM D) FM

6.Aşağıdakilerden hangisi analog sayısal modülasyon çeşidi değildir?

A)PPM B)PCM C)PAM D)PWM

7.Taşıyıcı darbe dizisindeki her darbenin genliğinin, bilgi işaretine bağlı olarak değiştirilmesi sonucu oluşan modülasyon aşağıdakilerden hangisidir?

A)PPM B) PCM C)PWM D) PAM

8. Aşağıdakilerden hangisi PCM'deki darbeler için söylenebilir?

A) Değişken uzunluk(genişlik) ve değişken genliktedirler.
B) Sabit uzunluk(genişlik) ve değişken genliktedirler.
C) Sabit uzunluk (genişlik) ve sabit genliktedirler.
D) Değişken uzunluk(genişlik) ve sabit genliktedirler.

9–12 numaralı sorularda boş bırakılan yerleri uygun şekilde doldurunuz

9. Delta modülasyonu bir ..... türüdür.

10. Alçak frekanslı bilgi sinyallerinin, yüksek ....sinyaller üzerine bindirilip uzak mesafelere gönderilmesi işlemine modülasyon denir.

11. Darbe modülasyonu gerçekleştirilirken, ilk önemli adım, verilen bir mesaj işaretini ayrık örneklerden oluşan değerlere dönüştürme işlemidir. Bu işleme .... denir.

12. Testere dişi sinyali üçgen (ikizkenar) olursa; .... her iki kenarı bilgiyi taşır. Buna iki kenar modülasyonlu PWM denir.

DEĞERLENDİRME

Sorulara verdiğiniz cevaplar ile cevap anahtarını karşılaştırınız, cevaplarınız doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz. Yanlış cevap verdiyseniz öğrenme faaliyetinin ilgili bölümüne dönerek konuyu tekrar ediniz.

MODÜL DEĞERLENDİRME

A. OBJEKTİF TESTLER (ÖLÇME SORULARI)

Aşağıdaki soruları cevaplayarak bu faaliyette kazandığınız bilgileri ölçünüz.

1–6 numaralı soruların başında verilen boşluğa doğru ise D, yanlış ise Y harfi koyunuz.

1. ( ) Isıl gürültü bir iletkende ısıl hareketin yol açtığı serbest elektronların rastgele hareketi sonucu oluşur.

2. ( ) Devre elemanlarını ekranlamak için iletkenliği yüksek olan malzemeler tercih edilmez.

3. ( ) Giriş katlarında, gürültü akımı ve gerilimi az olan kuvvetlendiriciler kullanılmalıdır.

4. ( ) DM'de klasik PCM'de olmayan problemlerden birisi de boşta çalışma gürültüsüdür.

5. ( ) Doğrultuculu galvanometre ile yapılmış AC voltmetre ile ölçülen gürültü aynı zamanda gürültünün gerçek RMS değeridir.

6. ( ) Gürültü kuplajını önleyebilmek için giriş katları çok iyi bir şekilde ekranlanmalıdır.

7–13 numaralı sorularda boş bırakılan yerleri uygun şekilde doldurunuz.

7. ....., bilgi işaretindeki gücün gürültü gücüne oranı olarak tanımlanır.
8. Modülasyon için iki önemli sinyalin olması şarttır. Bunlar .....sinyali ve .....sinyalidir.
9. İşaretlere gürültünün karışması istenmediğinden dolayı öncelikle gürültüsü fazla olmayan ..... elektrotları tercih edilmelidir.
10. AM ve FM'de iletilecek bilgiye bağlı olarak taşıyıcının bazı parametreleri .....olarak değişir.
11. Darbe modülasyonunda, ... numunelerine bağlı olarak darbeler şeklinde bir etki söz konusudur.
12. ..... işaretleri boşlukta, doğrudan elektromanyetik dalgalarla kolayca iletilemezler.
13. PWM işareti FM işareti gibi, ... olmayan bir modülasyondur.

DEĞERLENDİRME

Sorulara verdiğiniz cevaplar ile cevap anahtarını karşılaştırınız, cevaplarınız doğru ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeniniz ile iletişim kurunuz. Yanlış cevap verdiyseniz öğrenme faaliyetinin ilgili bölümüne dönerek konuyu tekrar ediniz.

B. UYGULAMALI TEST

Modüldeki öğrenme faaliyetlerinde kazandığınız beceriler doğrultusunda biyomedikal cihazların ve çalışma ortamlarındaki elektriksel sinyalleri analiz edebilme yeterliğini kazanıp kazanmadığınızı aşağıdaki ölçeğe göre değerlendiriniz.

Sıra Nu.	DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ	Evet	Hayır
1	Spektrum analizör ile ölçüm yapabilmek için gerekli ayarlamaları yapabiliyor musunuz?		
2	Spektrum analizörü kullanma becerisini elde ettiniz mi?		
3	Gürültü kaynaklarını tespit edebiliyor musunuz?		
4	Spektrum analizörü ile gürültüyü ayırt edebildiniz mi?		
5	Ölçülecek elektromanyetik alana uygun elektromanyetik ölçeri seçebiliyor musunuz?		
6	Spektrum analizörde elektromanyetik sinyalleri gözlemlediniz mi?		
7	Modülasyonu sınıflandırabiliyor musunuz?		
8	Modülasyon çeşitleri arasındaki farklılığı gözlemlediniz mi?		

DEĞERLENDİRME

Modül çalışmaları ve araştırmalar sonucunda kazandığınız bilgi ve becerilerin ölçülmesi için öğretmeniniz size ölçme araçları uygulayacaktır.

Ölçme sonuçlarına göre sizin modül ile ilgili durumunuz öğretmeniniz tarafından değerlendirilecektir.

Bu değerlendirme için öğretmeninize başvurunuz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ 1 CEVAP ANAHTARI

DOĞRU/YANLIŞ	
Soru	**Cevap**
1	**D**
2	**Y**
3	**D**
4	**D**
BOŞLUK DOLDURMA	
5	**freq.-tuning**
6	**genişliğini**
7	**ayarının**
8	**display- hızını**

ÖĞRENME FAALİYETİ 2 CEVAP ANAHTARI

DOĞRU/YANLIŞ	
Soru	**Cevap**
1	**D**
2	**Y**
3	**D**
4	**Y**
5	**Y**
6	**D**
7	**Y**
ÇOKTAN SEÇMELİ	
8	**B**
9	**D**
BOŞLUK DOLDURMA	
10	**jonksiyon**
11	**kararsız değişimlerden**
12	**1000**
13	**ortak**
14	**CMRR**
15	**kaynak**

ÖĞRENME FAALİYETİ 3 CEVAP ANAHTARI

DOĞRU/YANLIŞ	
Soru	**Cevap**
1	**Y**
2	**D**
3	**Y**
BOŞLUK DOLDURMA	
4	**Elektromıknatısların**
5	**MR- tomografi**

ÖĞRENME FAALİYETİ 4 CEVAP ANAHTARI

DOĞRU/YANLIŞ	
Soru	**Cevap**
1	**D**
2	**D**
3	**Y**
4	**D**
ÇOKTAN SEÇMELİ	
5	**D**
6	**B**
7	**D**
8	**C**
BOŞLUK DOLDURMA	
9	**PCM**
10	**frekanslı taşıyıcı**
11	**örnekleme işlemi**
12	**PWM dalgasının**

MODÜL DEĞERLENDİRME CEVAP ANAHTARI

DOĞRU/YANLIŞ	
Soru	**Cevap**
1	**D**
2	**Y**
3	**D**
4	**D**
5	**Y**
6	**D**
BOŞLUK DOLDURMA	
7	**İşaret-gürültü oranı**
8	**bilgi- taşıyıcı**
9	**Ag-AgCl**
10	**sürekli**
11	**bilgi**
12	**PAM**
13	**doğrusal**

ÖNERİLEN KAYNAKLAR

- YAZGAN Ertuğrul, Mehmet KORÜREK, **Tıp Elektroniği**, 1996.
- NACAR Mahmut, **Elektrik-Elektronik Ölçmeleri ve İş Güvenliği**, 2003.
- KAYRAN H.Ahmet, Analog Haberleşme, 2002.
- HWEI HSU, Çeviri AFACAN Erkan, **Analog ve Sayısal İletişim**, 2003.
- www.itu.edu.tr
- www.gazi.edu.tr

KAYNAKÇA

- YAZGAN Ertuğrul, Mehmet KORÜREK, **Tıp Elektroniği**, 1996.
- PASTACI Halit, **Modern Elektronik Sistemler**, 1996.
- KILLEN Harold B. ,Modern Elektronik İletişim Teknikleri, 1997.
- PASTACI Halit, **Elektrik-Elektronik Ölçmeleri**, 2000.
- NACAR Mahmut, Elektrik-Elektronik Ölçmeleri ve İş Güvenliği, 2003.
- TOMASI Wayne, **Elektronik İletişim Teknikleri**, MEB, 2002.
- YÜCEL Murat, **Yayımlanmamış Ders Notları**, 2006.
- BEKTAŞ Barış, **Yayımlanmamış Ders Notları**, 2006.
- DEMİRLİ Levent, **Sinyal Analizi Laboratuvar Testleri**, 2006.
- KAYRAN H. Ahmet, Erdal PANAYIRCI, Ümit AYGÖLÜ, **Sayısal Haberleşme**
- KAYRAN H.Ahmet, **Analog Haberleşme**, 2002.
- HWEI HSU, Çeviri AFACAN Erkan, **Analog ve Sayısal İletişim**, 2003.
- SCHOENBECK Robert J.,**Electronic Communications Modulation and Transmission**, 1992.
- HP8569B model servis el kitabı
- Bruce Carlson, Paul B. Crilly, Janet C. Rutledge, Communication Systems “An
- Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication”,4th Edition, McGraw-Hill, 2002.
- www.silisyum.net
- www.itu.edu.tr
- www.gazi.edu.tr
- www.mersin.edu.tr
- www.anritsu.com