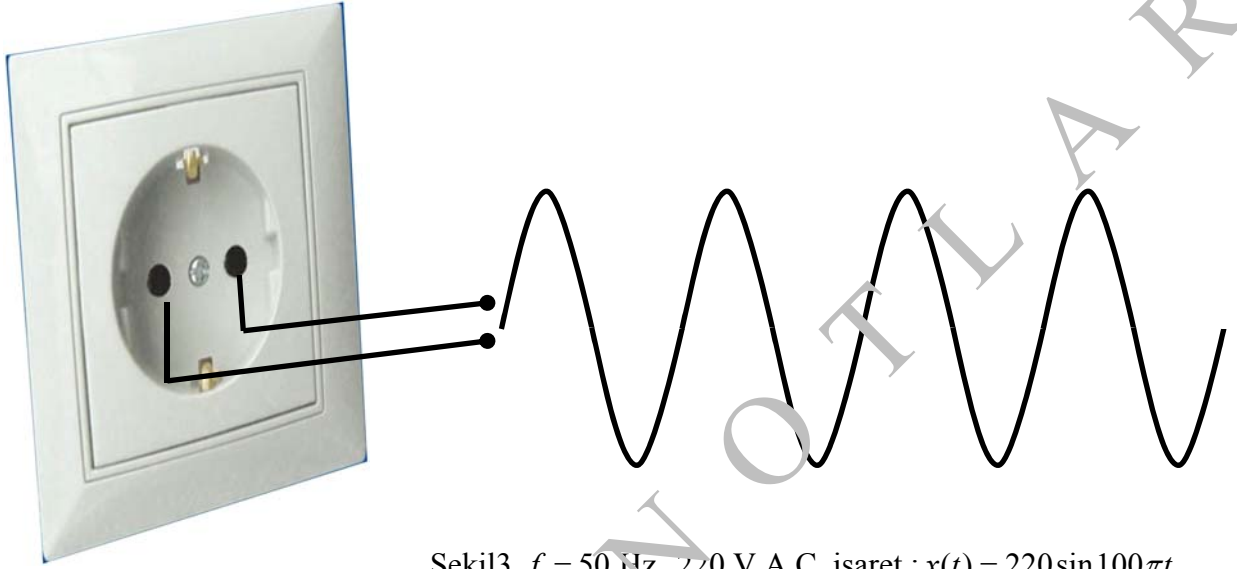
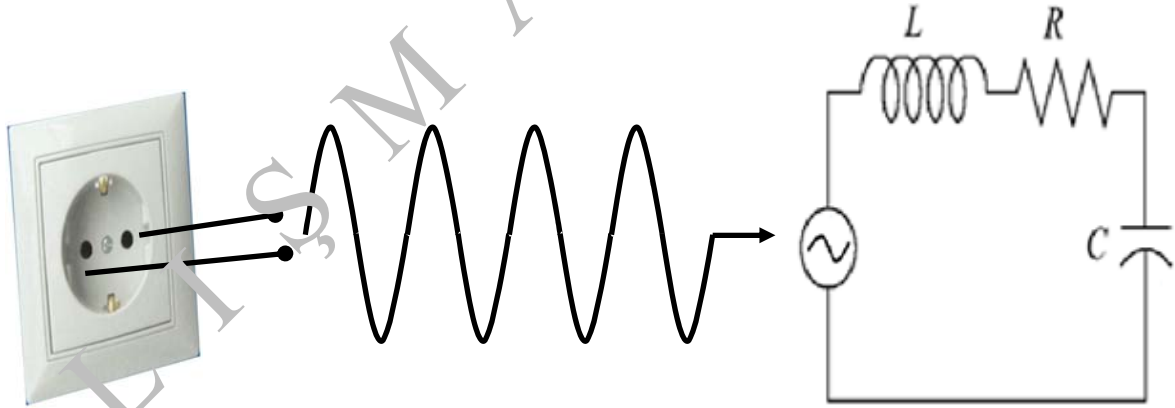


İşaret ve Temel kavramlar

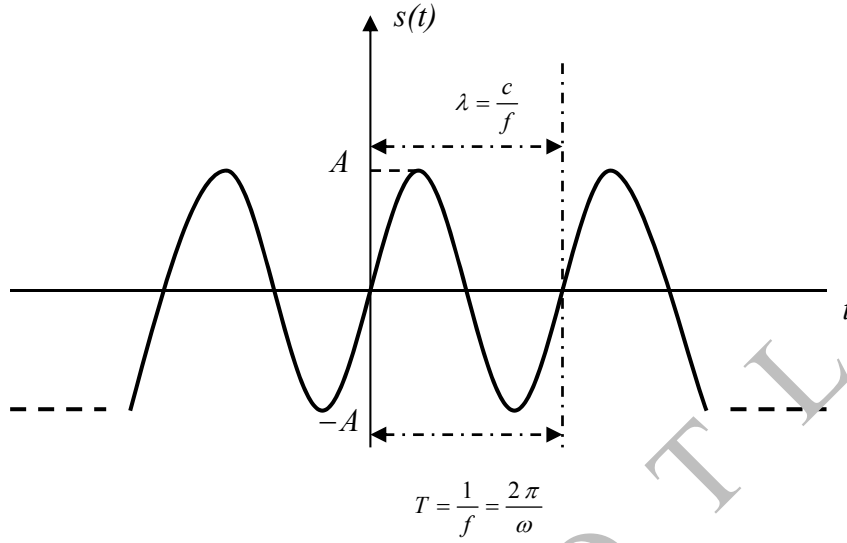
Yukarıdaki tanımlara sahip işaret, kullanıldığı alanlara göre farklı biçimde ortaya çıkar. Sinyal olarak anılan işaret, elektronikte, bir elektrik akımı, haberleşmede ise kodlanmış bilgi (data) olarak tanımlanmaktadır.



Şekil3. $f = 50 \text{ Hz}$, 220 V A.C. işaret : $x(t) = 220 \sin 100\pi t$



Buna göre eğer bir $x(t)$ işaretindeki beş temel büyüklüğü (genlik (A), periyod (T, sn), frekans (Hz), faz (radyan), dalga boyu (m)) içeren genel gösterim aşağıdaki şekilde verilmiştir. İşaret fonksiyonu $s(t) = A \sin(2\pi f t + \theta)$ olsun. $\omega = 2\pi f$



Şekil 2 Temel işaret parametreleri.

Period (T) : Bir saykılın zaman olarak uzunluğu

Dalga boyu (λ) : Bir saykılın mesafe olarak uzunluğu

Frekans (f) : Saniyedeki salınım (period,saykıl) sayısı

İşaretin Temel Parametreleri

Eğer genel bir işaret , $x(t) = A \sin(B t \mp C)$ olarak düşünülürse temel parametre olarak,

A = genlik

$B = \omega = 2\pi f$ = açısal hız $\rightarrow f$ = frekans (Hz)

C = faz

Genlik (A) : İşaretin gücünü, enerjisini veya şiddetini gösteren büyüklük veya parametresi.

Frekans (B) : İşaretin saniyedeki salınım sayısını Hertz (Hz) olarak gösteren parametresi.

Faz (C) : İşaretin başlangıç veya referans bir nokta/zamana göre gecikme miktarını gösteren parametresi..

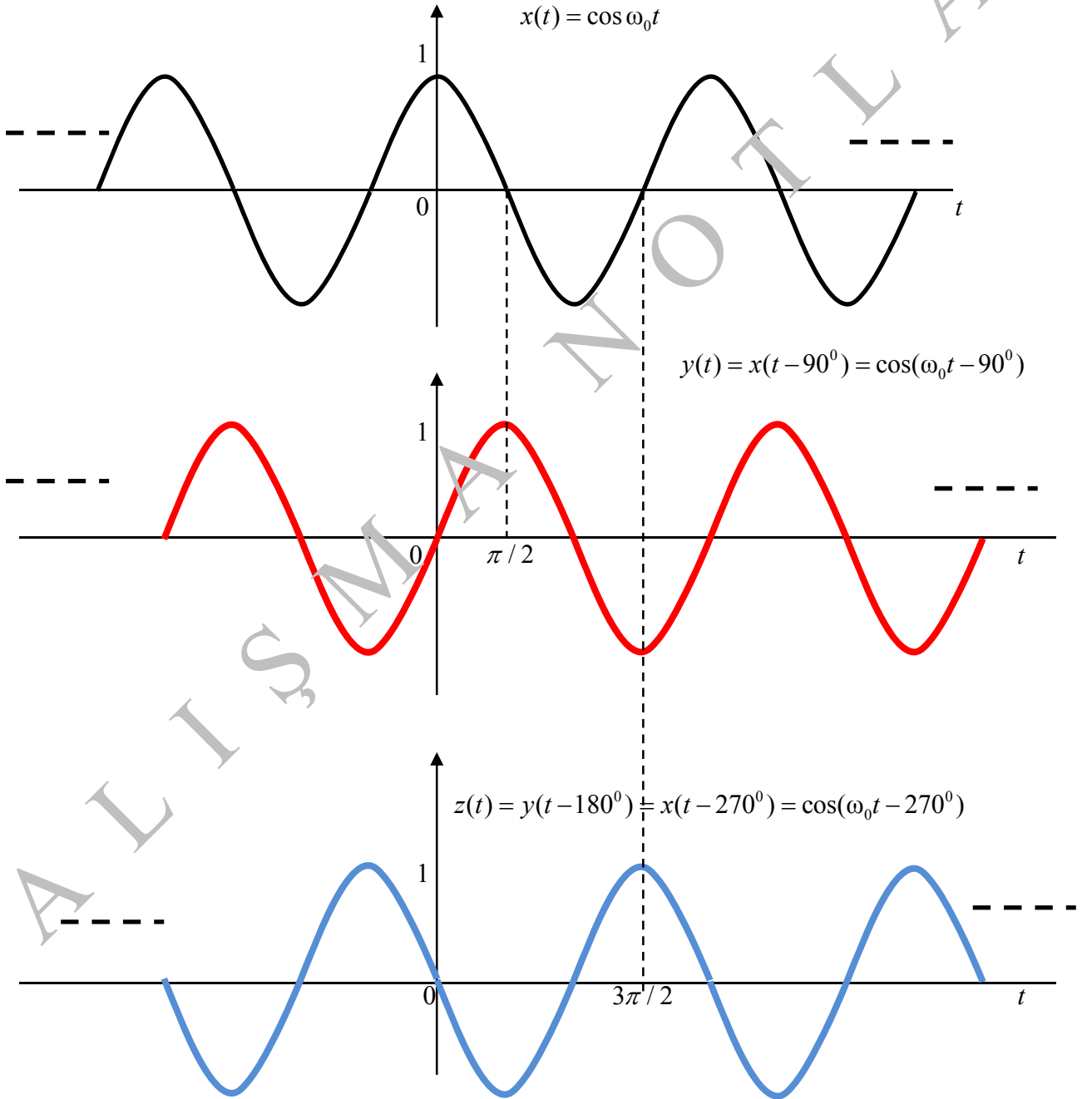
İşaretin üç temel parametresinden gürültüye karşı bağımsıklığı düşük, diğer bir deyişle hassasiyeti olan parametresi genliktir. Ortam koşullarından kaynaklanan gürültünün genellikle ilk etki ederek bozduğu parametresi genliğidir. Genlik modülasyonu bu gerçeği işaret etmektedir. Frekans ve faz bilgisi gürültüye karşı daha dirençli olabilmektedir. Özellikle frekans veya faz modülasyonlarında bu direnç fark edilmektedir.

Örnek Bir alternatif akım güç kaynağına ait verilen $x(t) = 16 \sin(10\pi t - 30^\circ)$ işaretinin genliğini, frekansını ve fazını bulun.

Çözüm Genel $x(t) = A \sin(B t \mp C)$ işaretiyle karşılaştırıldığında,
 $A = 16$ volt , $\omega_0 = 2\pi f = 10\pi \rightarrow f = 5$ Hz = B , $C = -30^\circ$

İşaret ve Faz Farkı

Faz farkı işaretlerin referans alınacak bir noktaya göre aynı harekete başlama anlarındaki zaman veya mesafe olarak farkı veya gecikmeyi ifade eder.



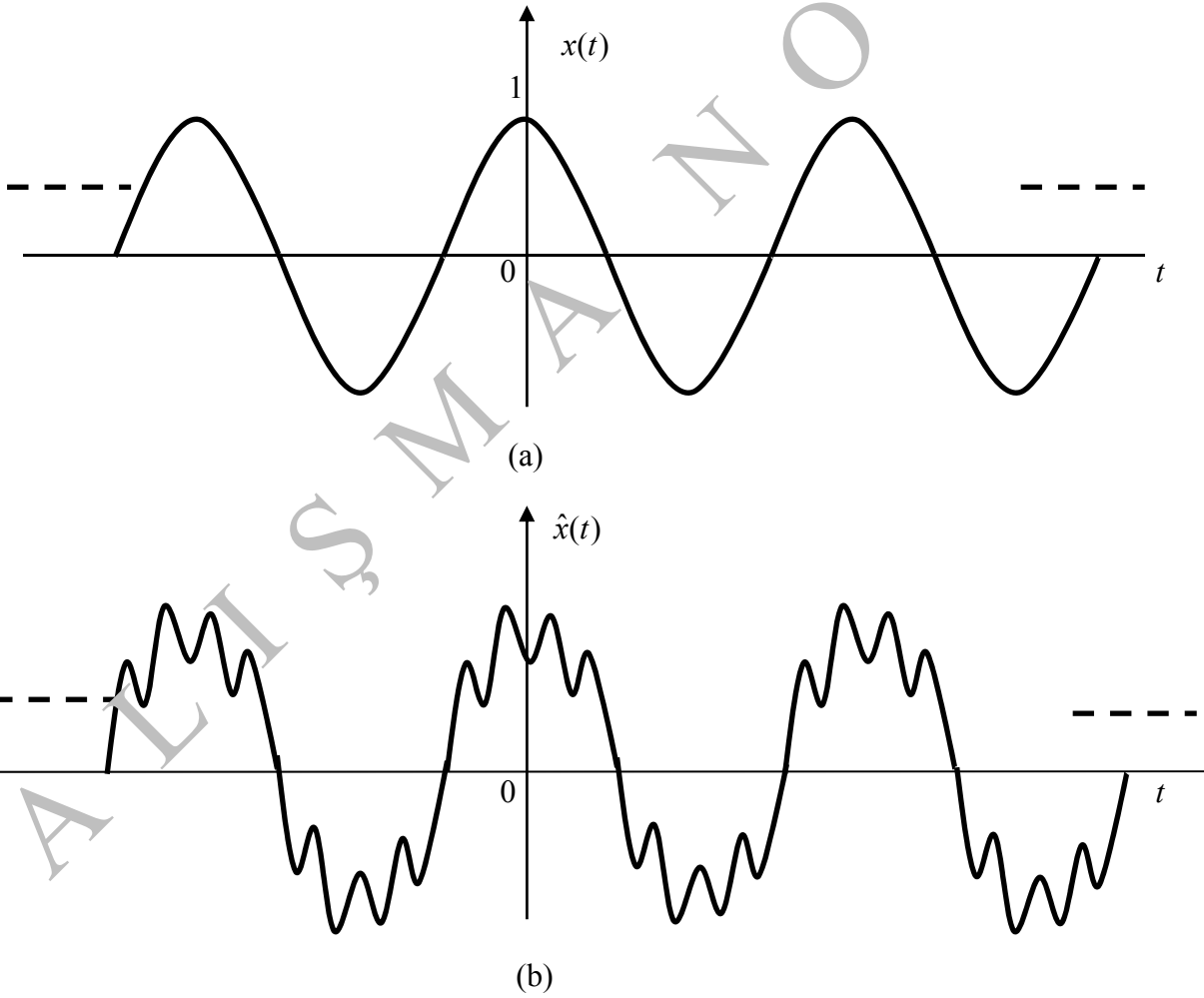
Şekil 4. Aynı genlik, aynı frekanslı farklı fazlı işaretler

Verilere bakıldığında $x(t) = \sin \omega_0 t$ işaretinin orijine göre yaptığı hareketi $y(t)$ işareti 90° , $z(t)$ işareti ise 270° derece sonra yapmaktadır. Bu nedenle $x(t)$ işareti en ileri fazdaki işaret iken, $z(t)$ ise en geri fazdaki işarettir. Ayrıca verilerden $y(t)$ işaretinin $z(t)$ işaretine göre 180° ileri fazda olduğu fark edilmektedir.

Örnek Aşağıda (a) da değişimi verilen işaret bir haberleşme sisteminden iletildiğinde alıcıda (b) deki gibi alınıyorsa işareti genlik, frekans ve faz açısından değerlendirin.

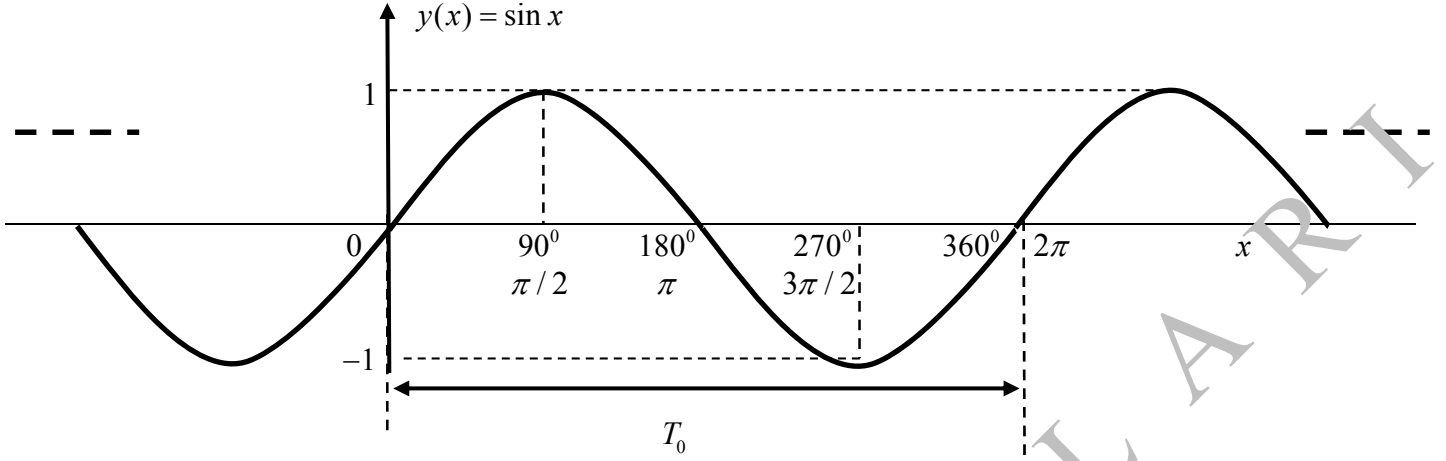
Çözüm Şekil (b) incelendiğinde işaretin gerek frekansı gerekse fazı aynı kaldığı halde, genliğinde distorsiyonlar (bozulmalar) oluşmuştur. Mevcut (a) işaretinin üzerine bir gürültünün bindiğini/eklendiğini düşünebiliriz. Bunda da işaretin genliğinin frekans ve faz'a kıyasla gürültüye daha dirençsiz oluşu etkili olmuş olabilir. Oluşan $\hat{x}(t)$ işareti gürültülü işaret olup, uygun filtreleme (süzgeç) teknikleri kullanılarak kaldırılabilir. Eğer ortamdan kaynaklanan bir $n(t)$ gürültüsü var ise, bu durumda alıcıdaki işaret,

$$\hat{x}(t) = x(t) + n(t)$$



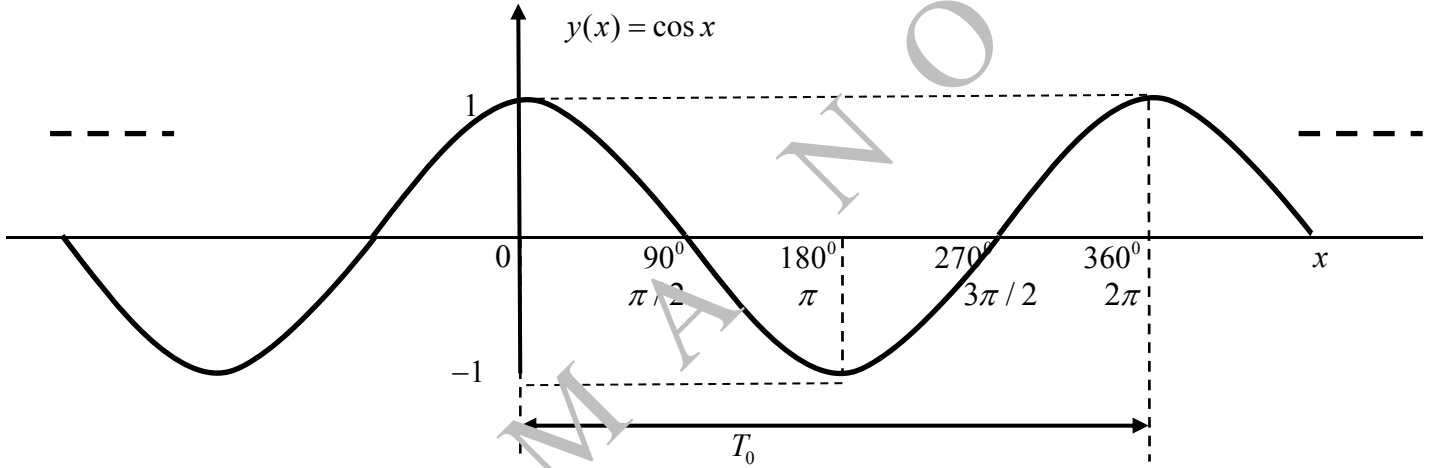
Şekil 6. (a) : Orijinal işaret ve (b) : gürültü binmiş distorsiyonlu işaret

Örnek $y(x) = \sin x$, işaretinin değişimini inceleyin.



Şekil 6 $y(x) = \sin x$ işaretinin değişimi

Örnek $y(x) = \cos x$, işaretinin değişimini inceleyin.



Şekil 7 $y(x) = \cos x$ işaretinin değişimi

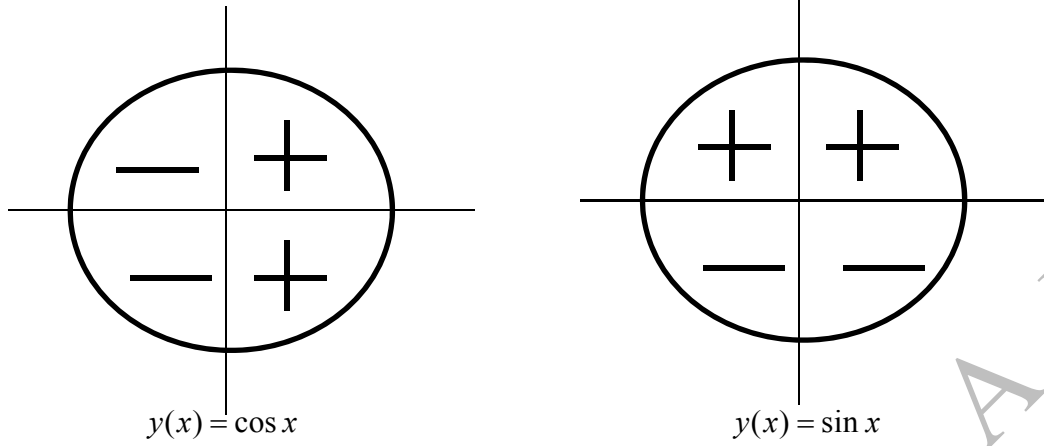
x	0°	30°	45°	60°	90°	120°	135°	150°	180°
$\cos x$	1	0.866	0.707	0.5	0	-0.5	-0.707	-0.866	-1
$\sin x$	0	0.5	0.707	0.866	1	0.866	0.707	0.5	0

x	210°	225°	240°	270°	300°	315°	330°	360°
$\cos x$	-0.707	-0.866	-0.5	0	0.866	0.707	0.5	1
$\sin x$	-0.5	-0.707	-0.866	-1	-0.5	-0.707	-0.866	0

$$-1 \leq \sin x, \cos x \leq 1$$

$$\tan x = \frac{\sin x}{\cos x}, \quad \cot x = \frac{\cos x}{\sin x}$$

Şekil $\cos x$ ve $\sin x$ işaretlerinin $x = (0^\circ, 360^\circ) = (0, 2\pi)$ aralığındaki değerleri



Şekil 8 $\cos x$ ve $\sin x$ işaretlerinin bölgelere göre işaretleri

Trigonometrik Özdeşlikler

- 1) $\cos(-\theta) = \cos \theta$ ve $\sin \theta = \cos(90^\circ - \theta)$
- 2) $\sin(-\theta) = -\sin \theta$ ve $\sin \theta = \cos(90^\circ - \theta)$
- 3) $\cos \theta = \sin(90^\circ - \theta)$ ve $\sin \theta = \cos(90^\circ - \theta)$
- 4) $\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$
- 5) $\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta$
- 6) $\cos 2\theta = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta$
- 7) $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$
- 8) $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$
- 9) $\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \tan \beta}$
- 10) $\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$
- 11) $\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$
- 12) $\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$
- 13) $\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$

Örnek $\sin 30^\circ = 0.5$ ise $\cos 60^\circ = ?$

Çözüm $\cos \theta = \sin(90^\circ - \theta)$ ise ,
 $\cos 60^\circ = \sin(90^\circ - 60^\circ) = \sin 30 = 0.5$

Örnek $\sin^2 60^\circ + \cos^2 60^\circ = \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \left(\frac{3}{4}\right) + \left(\frac{1}{4}\right) = \left(\frac{3+1}{4}\right) = \left(\frac{4}{4}\right) = 1$

$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1 \rightarrow \theta = 60^\circ$

Örnek $\cos 300^\circ = ?$

Çözüm $\cos 300^\circ = \cos(360 - 60) = \cos 60 = 0.5$

Örnek $\sin 420^\circ = ?$

Çözüm $\sin 420^\circ = \sin(360 + 60) = \sin 60 = 0.866$

Örnek $\cos 765^\circ = ?$

Çözüm $\cos 765^\circ = \cos(2 \times 360 + 45) = \cos 45 = 0.707$

Örnek $\int \sin ax \, dx = -\frac{1}{a} \cos ax$ ise,

$\int_0^\pi \sin x \, dx = -(\cos x)_0^\pi = -(\cos \pi - \cos 0) = -(-1 - 1) = -(-2) = 2$

Örnek $\int \cos ax \, dx = \frac{1}{a} \sin ax$ ise,

$\int_0^{\pi/2} \cos x \, dx = (\sin x)_0^{\pi/2} = (\sin(\pi/2) - \sin 0) = (1 - 0) = 1$

Örnek $\int_0^{3\pi/2} \sin 2x \, dx = -\frac{1}{2}(\cos 2x)_0^{3\pi/2} = -(\cos(2 \cdot \frac{3\pi}{2}) - \cos 0) = -(\cos(3\pi) - \cos 0)$
 $= -(\cos(2\pi + \pi) - \cos 0) = -(\cos(\pi) - \cos 0) = -(-1 - 1) = -(-2) = 2$

Örnek

$\frac{d \cos ax}{dx} = (\cos ax)' = -a \sin ax$

Örnek

$\frac{d \sin ax}{dx} = (\sin ax)' = a \cos ax$

Örnek

$\frac{d^2 \cos x}{dx^2} = (\cos x)'' = (-\sin x)' = -\cos x$

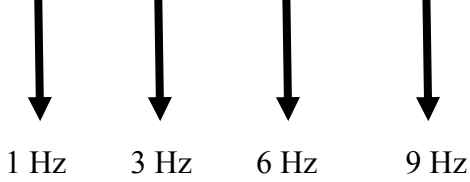
$\frac{d^2 \sin 2x}{dx^2} = (\sin 2x)'' = (2 \cos 2x)' = 2(-2 \sin 2x) = -4 \sin 2x$

Örnek

$x(t) = \sin 2\pi t + \sin 6\pi t + \sin 12\pi t + \sin 18\pi t$ İşaretinin band genişliğini bulun.

Çözüm

$$x(t) = \sin 2\pi t + \sin 6\pi t + \sin 12\pi t + \sin 18\pi t$$



$\sin \omega t$ için $\omega = 2\pi f$ ise

$$\sin \omega_1 t = \sin 2\pi t \rightarrow \omega_1 = 2\pi = 2\pi f_1 \rightarrow f_1 = 1 \text{ Hz}$$

$$\sin \omega_2 t = \sin 6\pi t \rightarrow \omega_2 = 6\pi = 2\pi f_2 \rightarrow f_2 = 3 \text{ Hz}$$

$$\sin \omega_3 t = \sin 12\pi t \rightarrow \omega_3 = 12\pi = 2\pi f_3 \rightarrow f_3 = 6 \text{ Hz}$$

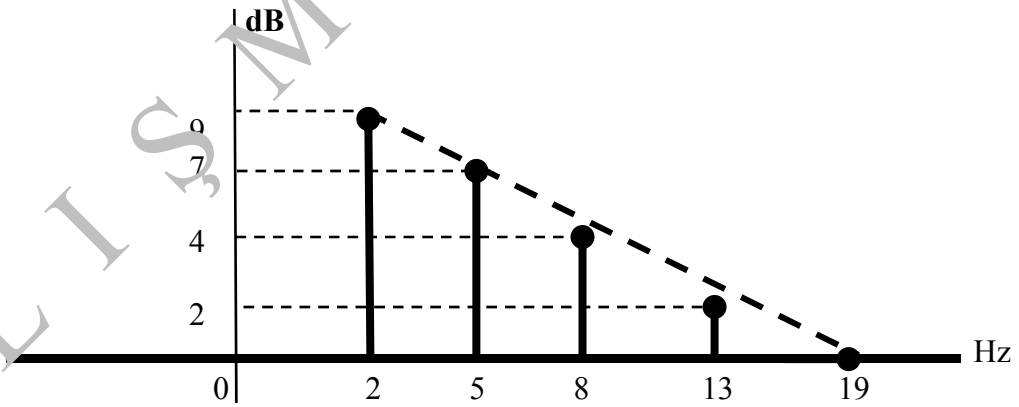
$$\sin \omega_4 t = \sin 18\pi t \rightarrow \omega_4 = 18\pi = 2\pi f_4 \rightarrow f_4 = 9 \text{ Hz}$$

$$\rightarrow \text{Band Genişliği} = 9 - 1 = 8 \text{ Hz}$$

Not : Analog işaretin band genişliği, en yüksek ve en düşük frekansların farkıdır.

Örnek

Aşağıdaki işaretin band genişliğini bulun



Şekil 8

Çözüm

$$f_1 = 2 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 5 \text{ Hz}$$

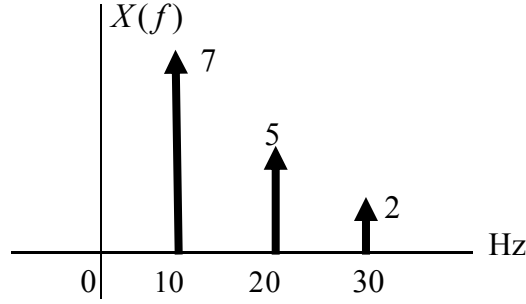
$$f_3 = 8 \text{ Hz}$$

$$f_4 = 13 \text{ Hz}$$

$$\rightarrow \text{Band Genişliği} = 13 - 2 = 11 \text{ Hz}$$

Örnek

Frekans içerikleri aşağıda verilen $x(t)$ sinyalinin band genişliğini tespit edin.



Şekil 6. Genlik – frekans değişimi

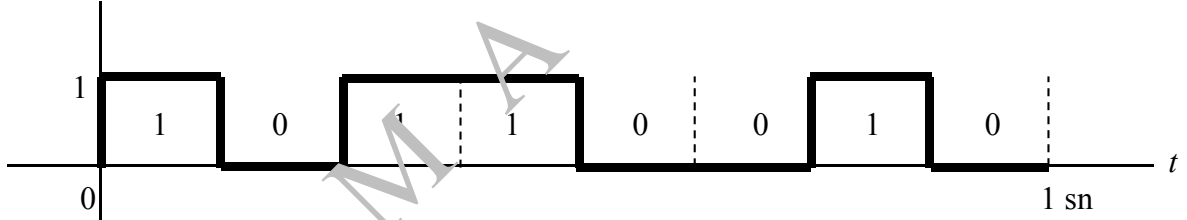
Verilen şekil frekans domeninde olduğundan band genişliğinin tespiti oldukça kolaydır.

$$f_{\min} = 10 \text{ Hz ve } f_{\max} = 30 \text{ Hz} \rightarrow \text{Band Genişliği} = 30 - 10 = 20 \text{ Hz}$$

Sayısal İşaretlerin Band Genişlikleri

Sayısal işaret işlemede veya sayısal data ile ilgili band genişliği değerlendirmesinde frekanstan ziyade saniyedeki bit sayısı (bps, bit per second, saniye başına düşen bit miktarı) dikkate alınır.

Örnek Değişimi aşağıda verilen işaretin band genişliğini hesaplayın.



Şekil 7. Sayısal sinyal

Çözüm

Görünüşe göre 8 bitten oluşan 10110010 verisi (0 veya 1 bit olarak anılır) bir saniyede taşınmaktadır veya iletilmektedir. Saniyede taşınan veri miktarı bit olarak göz önüne alındığından sayısal sinyalin band genişliği 8 bps dir.

bpp (bit per pixel) : pixel başına düşen bit sayısı. Sayısal verinin band genişliğini gösterir.

Band genişliği, bir iletişim ortamının taşıyabileceği bilgi miktarını gösteren bir ölçüdür. Söz gelimi, ses iletimi için band genişliği, iletilebilen en yüksek ve en düşük frekanslar arasındaki farktır. (Hertz). Bilgisayarlar arası haberleşme için de benzer şekilde, band genişliği, saniyede iletilen bit sayısı ile verilir.

İnternet'teki bilgi iletim hızları çeşitlilik gösterir. Bilgisayarları ve değişik ağları birbirine bağlayan hatlar, kablo (çoğunlukla fiber optik), uydu ya da radyo link (yakın birimler için) bağlantılı olabilir. İnternet'te hat hızı, saniyede iletilen "bit" sayısı ile (bps, bit/san) ölçülür. Bir birimin, bağlantılarında kullanabileceği en fazla hıza "Band Genişliği" denir.

Örnek Saniyede 64 kilobit hızında bilgi iletme kapasitesi olan bir iletim hattından, 1 Megabyte lık bilgi hangi sürede iletilir.

Çözüm $64 \text{ kilobit} = 64/8 = 8 \text{ kilobyte}$

Buna göre iletim hattının kapasitesi saniyede 64 kilobit veya 8 kilobyte. Eğer bu hattın 1 Megabyte lık bir veri iletilecekse,

$1 \text{ Mbyte} = 1024 \text{ kilobyte}$

Süre = $1024/8 = 128 \text{ sn}$, yaklaşık 2 dakika

Günümüzde bağlantı hızları 9.6 kbit/saniyelerden (düşük hızlı modem bağlantısı), 100 Megabit/saniyelere kadar geniş bir aralıkta değişmektedir. Örnek olarak, 56k Modemlerle elde edilen hız yaklaşık olarak 53 kbit/san dir. Bu da, ideal şartlarda, yaklaşık olarak 5 ila 6 kilobyte/san. lik bir veri transfer hızına karşılık gelir (1 byte=8bit).

Hat Kapasitesi (band genişliği) Kavramı

Bir bilginin iki nokta arasında iletimi için, bu iki nokta arasında bir fiziksel bağlantı kurulması, veya var olan bir bağlantının kullanılması gerekir. Bu bağlantıya elektronik iletişim dilinde bir iletişim kanalı adı verilir.

Her iletişim kanalının belli bir bilgi taşıma kapasitesi vardır. Bu kapasiteye de bant genişliği (bandwith) adı verilir. Bant genişliği, o iletişim kanalından belli bir zaman birimi içinde ne kadar bilgi aktarılabileceğini gösterir. Bant genişliği genellikle “saniyede taşınan bit” (bit/s veya bps) olarak ifade edilir.

Örnek İki bilgisayarın bant genişliği saniyede yaklaşık 8000 bit (8 kilobit= 8 Kb) olan bir bakır telefon kablosu ile bağlı olduğunu varsayalım. Bu kanal üzerinden büyüklüğü 1 milyon bit (1 Megabit = 1 Mb) olan bir bilgisayar veri kütüğünü gönderebilmek için: $1.000.000 \text{ bit} / 8.000 \text{ bit/s} = 125 \text{ saniye}$, ya da 2 dakika 5 saniye gereklidir.

Multimedya iletiminde bant genişliği kimi zaman son derece kısıtlayıcı bir etken olabilir. Örneğin, bant genişliği yaklaşık 8 Kbps (saniyede 8 kilobit) olan aynı bakır telefon kablosu üzerinden bir video görüntüsü yollamak istersek:

- A) Her görüntünün 300 X 200 piksel tuttuğunu,
- B) Her pikselin renk verileri için 8 bitlik bilgi tutulduğunu varsayarak,

Tek bir görüntü için $300 \times 200 \times 8 = 480.000 \text{ bit}$ yollanması gerektiğini buluruz. İnsan gözü saniyede 30 görüntü gösterilmesi durumunda görüntüleri hareketli bir film olarak algılayabilmektedir. Bu durumda, tek görüntü için saniyede 480.000 bit, bir saniyelik video filmini oluşturacak 30 görüntü için ise, saniyede $480.000 \times 30 = 14.400.000 \text{ bit}$ yollanması gerekir. Bant kapasitesi saniyede 8 Kilobit olduğuna göre, bu kadar bilgi:

$14.400.000 \text{ bit} / 8.000 \text{ bit/s} = 1800 \text{ saniyede}$ yollanabilir. Bu da 30 dakika demektir.

Kısacası, klasik bir telefon hattı üzerinden sadece bir saniyelik bir video filmini ancak yarım saatte yollayabiliriz.

İletim Hızı

Bilgisayarlar için en küçük veri iletim birimi bittir. Günümüzde veri iletim hızı, sayısal olarak saniyede iletilen bit sayısı ile ölçülür. Kullanılan iletişim hızı birimleri şunlardır:

BPS (Bits per second-saniyedeki bit sayısı): Saniyede iletilen bit sayısıdır.

KBPS (Kilobits per second-saniyedeki bin bit sayısı): Saniyede iletilen bin bit sayısıdır. Günümüzdeki modemler 56 Kbps, yani saniyede 56 bin bit iletmektedir.

MBPS (Megabits per second-saniyedeki milyon bit sayısı): Saniyede iletilen milyon bit sayısıdır.

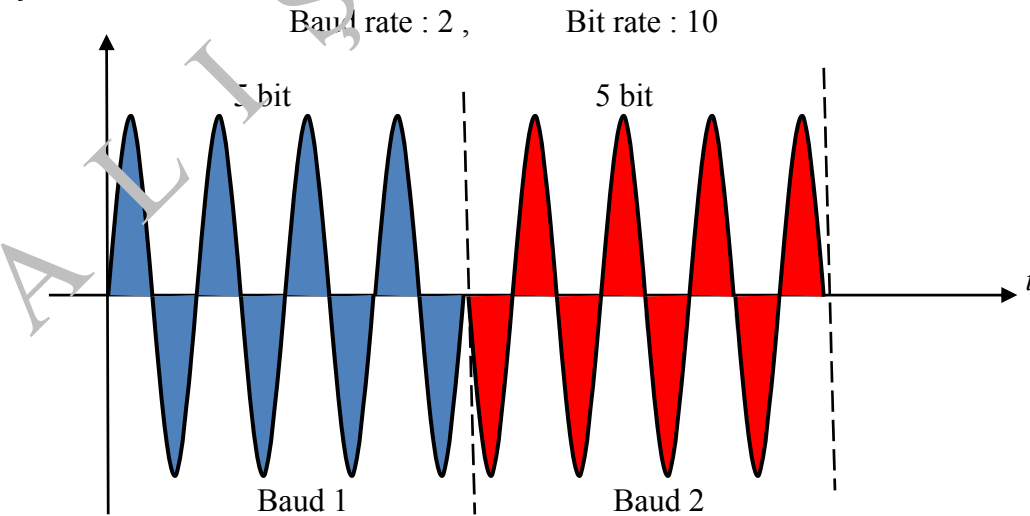
GBPS (Gigabits per second-saniyedeki milyar bit sayısı): Saniyede iletilen milyar bit sayısıdır.

Ancak verinin örneksel olarak iletildiği ortamlarda, iletişim hızı bant genişliği (bandwidth) ile ölçülür. Bant genişliği, kullanılan frekans aralığıdır. Örneğin, 800 ile 200 megahertz (milyon hertz) arasında çalışan cep telefonlarının bant genişliği 100 megahertzdir. Bant genişliği arttıkça, veri hızlı iletilir. Örneğin, 4000 hertz telefon kablosu 1 Kbps, 100 megahertz eş eksenli (coaxial) kablo 10 Mbps, 200 trilyon hertz fiber optik kablo 1 Gbps hızlarında veri iletebilir. Telefon hatları üzerinden modem kullanılarak yapılan bağlantılar düşük bant genişliği (low bandwidth); uydu bağlantısı gibi yüksek kapasiteli iletimler geniş bant (broadband) olarak adlandırılır.

Baud : Data haberleşmesinde kullanılan modem gibi cihazların sinyalleşme hızı Baud olarak anılır. Her sinyalleşme belli miktardaki bit sayısına karşılık gelmektedir. Bu anlamda veri iletiminde modülatör çıkışında bir saniyede meydana gelen sembol (baud) değişikliği Baud Oranı (Baud Rate) olarak anılır.

Örnek Bir veri iletim hattının hızı 6400 baud/sn ve her bir baud 5 bit ile kodlanmış ise, hattın hızını ölçün.

Çözüm



Her bir baud 5 bit içeriyorsa söz konusu hatta saniyede 10 bit iletilecektir (10 bps).

Bilgi Kapasitesi

Hartley kuralına göre W band genişliği ve T iletim süresi olmak üzere C kapasitesi,

$$C = W \times T$$

olarak tanımlanmıştır. Kapasite birimi saniyedeki bit sayısını göstermek üzere “bps” olarak kabul edilmiştir. Buna göre bilgi kapasitesinin, band genişliği ve iletim süresi ile doğru orantılı (lineer) değiştiği görülmektedir.

Bu tanımlamaları daha tutarlı biçimlerde tanımlamak çalışmaları 1948 li yıllardaki Amerikalı bilim adamı, matematikçi ve elektrik mühendisi **Claude Elwood Shannon** ile ortaya konulmuştur. Kendisi modern bilgi teorisinin (information theory), dolaylı olarak da haberleşme teorisinin kurucusu olarak bilinmektedir. 1948 yılında C.E.Shannon tarafından geliştirilen bilgi teorisiyle kapasite tanımı, kodlanmış halde ne kadar bilgi taşıyabileceğini gösteren bir ölçüm birimi olarak daha da geliştirilmiştir.

$$\text{Shannon kapasite : } C = W \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right)$$

W = İşaretin band genişliği (Hz)

P_S = İşaretin gücü (Watt)

P_N = Gürültünün gücü (Watt)

Bağıntıya göre bilgi kapasitesi en başta işaretin band genişliğine (W) bağlı değişmektedir. Band genişliği frekansa demek olduğundan, sonuçta sayısal bilgi/veri miktarının frekansa (band genişliğine) bağlı olduğu sonucuna varmaktayız. Bunların ışığında daha fazla veri sağlamak adına daha yüksek frekanslı işaretlere ihtiyaç duyulacağı sonucuna varılabilir. Bu nedenle sayısal haberleşme sistemlerinde yüksek miktarlarda veri transferini sağlamak üzere, daima yüksek frekanslı, dolayısıyla geniş bandlı işaretlerden yararlanılır. Özellikle ses veya görüntü gibi geniş band gerektiren işaretlerin iletiminde gereken yüksek veri miktarları bu yolla temin edilebilir.

Örnek Sinyal gürültü oranı 1000 (30 dB, desibel) ve band genişliği 2.7 kHz olan bir ses bandı iletişim kanalındaki bilgi kapasitesini hesaplayalım.

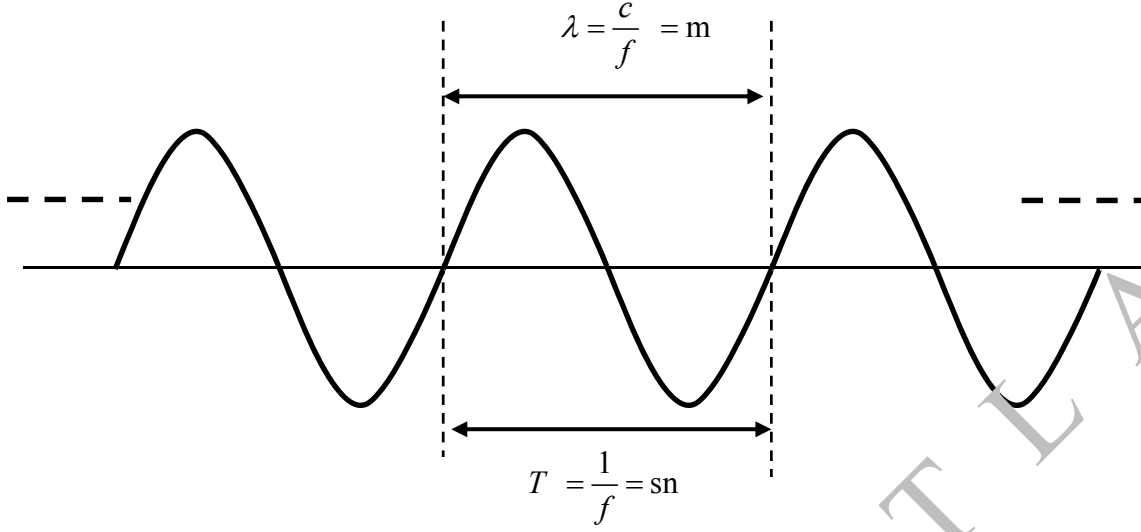
$$\text{Çözüm } \frac{P_S}{P_N} = 1000 = 30\text{dB} \quad , \quad W = 2.7 \text{ kHz}$$

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right) = 2700 \log_2 (1 + 1000) = 26.9 \text{ kbps}$$

buna göre 26.9 kbps lik bilgi 2.7 kHz lik bir kanalda iletilebilecektir.

Period – Frekans – Dalga Boyu – Anten Dalga Boyu

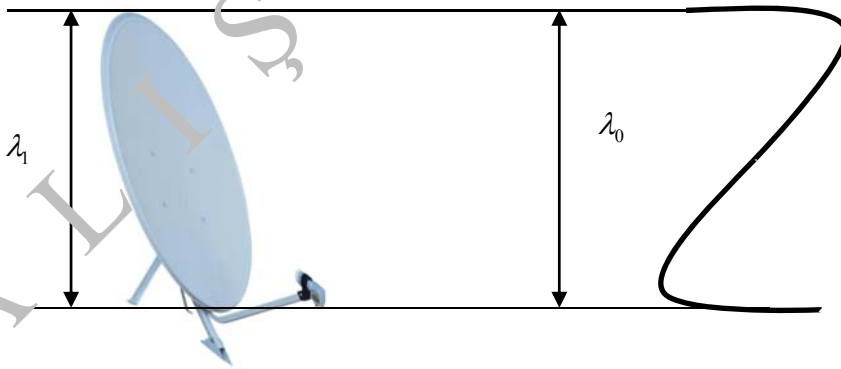
Temel bir işarete dair temel elektrik büyüklükler aşağıdaki şekil üzerinde tanımlanmıştır.



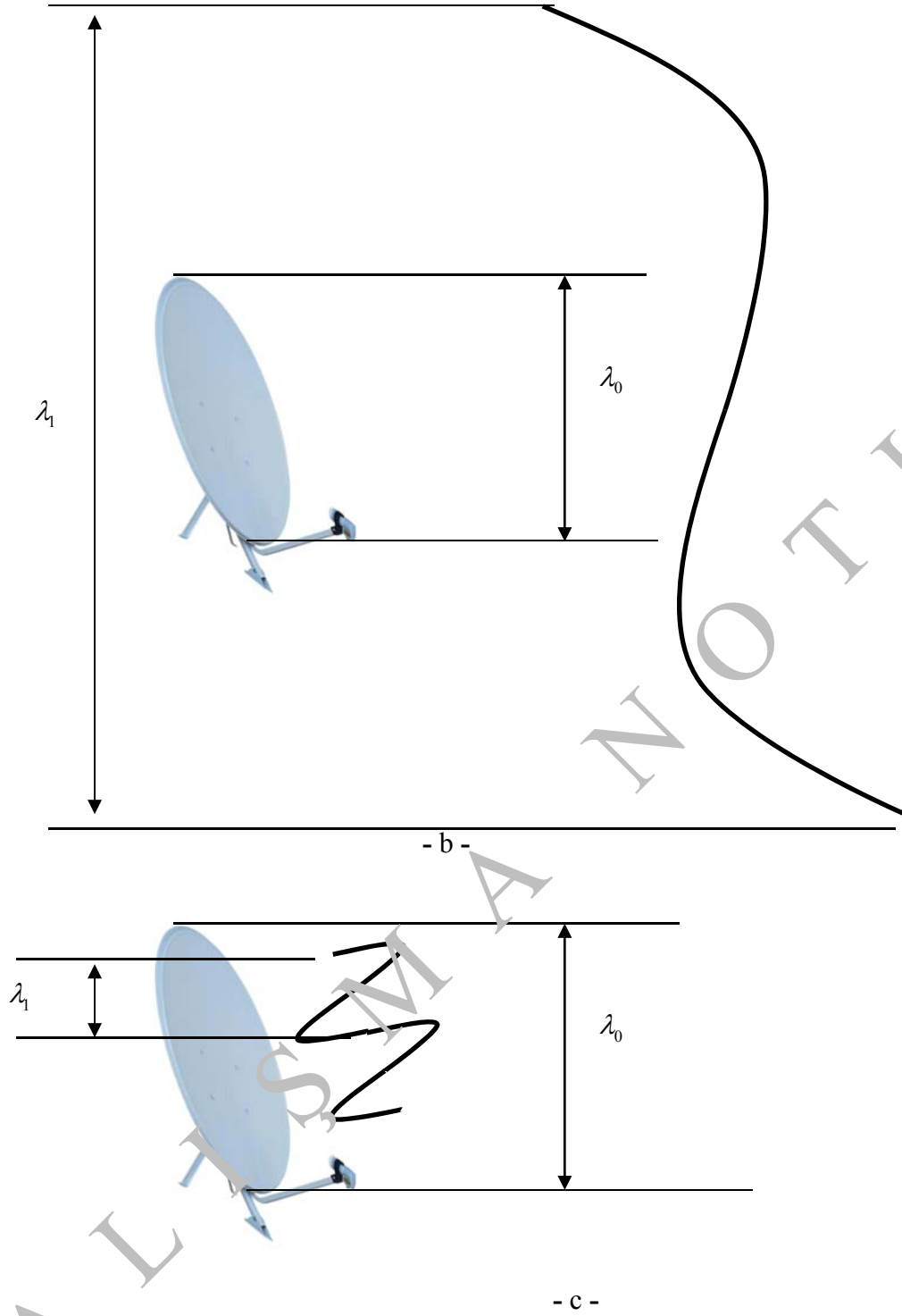
Şekil 19. Frekans – Period ilişkisi

Dalga boyu (λ) : Bir period veya bir saykılın metre olarak uzunluğudur (m). $\lambda = c / f$ ifadesindeki c , elektromanyetik dalganın hızı ($c = 3 \times 10^8$ m/sn) olup, aynı zamanda ışık hızı olarak da bilinir.

Günümüzde radyo, TV ve radar tip haberleşmeler antenler yoluyla yapılır. Radyo, TV ve radar istasyonlarından gerek sinyallerin gönderimi gerekse alımı antenler yoluyla gerçekleşmektedir. Bu nedenle kullanılacak antenlerin anten boyu ve bunlardan gönderilecek/alınacak sinyallerin dalga boyları birlikte düşünülmelidir. Antenin iki ucu arasındaki mesafesine antenin boyu veya kısaca dalga boyu denilir. Bu nedenle gönderilecek/alınacak sinyalin dalga boyu, kullanılacak antenin uzunluğuna göre belirlenmelidir. Aşağıdaki Şekil (a), (b), (c) buna dair fikir vermektedir.



- a -



Şekil 20. Dalga boyu – Anten ilişkisi

Örnek 3.7 KHz lik bir işareti (normal insan sesinin frekansı) alacak antenin dalga boyunu hesaplayalım.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

v , sesin havada yayılma hızı $v = 340$ m/sn bu bağıntıya göre,

$$\lambda = \frac{340}{3700} = 0.09 \text{ m} = 9 \text{ cm}$$

Buna göre $f = 3700$ Hz lik ses sinyalinin saniyede 340 m/sn gibi düşük hızla iletirken $\lambda = 9$ cm boyutunda anten yeterli olacaktır. Ancak bu durumda sesimizin saniyede yayılma hızı $v = 340$ m/sn olarak düşünülürse, bu durumda örneğin 160 km mesafede Sakarya dan İstanbul'a sesimiz yaklaşık 8 dakikada ulaşacaktır. Günümüz koşullarını göz önüne aldığımızda bu sabredilemeyecek kadar uzun bir süredir.

Ancak bu durumu tersine çevirmemiz mümkündür. Ses dalgası yerine saniyedeki hızı 300 milyon m/sn olan elektromagnetik sinyaller düşünüldüğünde $f = 3700$ Hz lik sesimizi yaklaşık 50 msn de göndermemiz mümkün olur. Bu yüksek verimi saniyede 300 000 km yol alabilen yüksek hızlı, yüksek frekanslı ve yüksek enerjili ve bir Elektromagnetik Dalgaya (EM) borçluyuz. Bu durumda gerekli olan antenin boyutu,

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ bağıntısı gereğince,}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{3700} = 81081 \text{ m}$$

Dalga boyu 81081 m olan bir anten elbette mümkün değildir. Bu ses insan sesine ait olduğundan u haliyle insanlar ne telefonla konuşabilirdi, sonunda ne de haberleşme veya iletişim sağlanabilirdi. Pratikte kullanılan anten boyu, işaret dalga boyunun çeyreği kadardır. Buna göre böyle bir haberleşmeyi mümkün kılmak için mutlaka frekansın artırılması gerekiyor. Bunu sağlamak üzere yapılan işleme modülasyon denilmektedir. Bu yöntemde zayıf işaret (bilgi) kuvvetli işaretin (taşıyıcı işaret) üzerine bindirilerek (zayıf ve kuvvetli işaretin çarpımı) işaret gönderilir. Bu işleme modülasyon denilmektedir.

Örnek 500 MHz lik bir işaret taşıyacak antenin dalga boyunu hesaplayalım.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

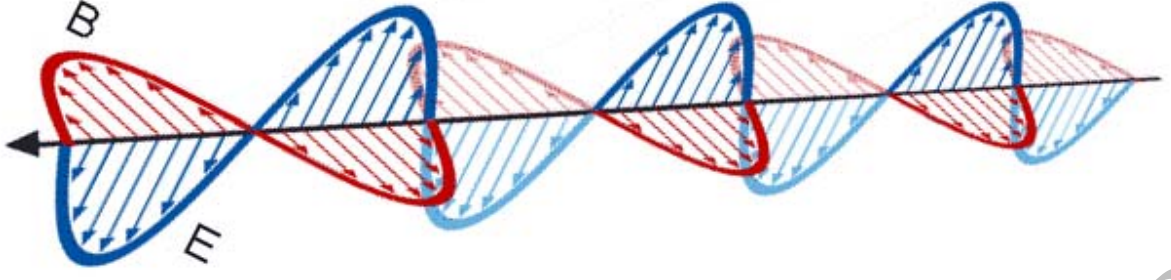
bağıntısı gereğince,

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{500 \times 10^6} = 0.6 \text{ m} = 60 \text{ cm}$$

Günümüzde 60 cm antenler mümkün olduğu için bu haberleşmenin sağlanması mümkündür. Ancak burada belirleyici olanın 500 MHz lik çok yüksek frekans olduğu unutulmamalıdır.

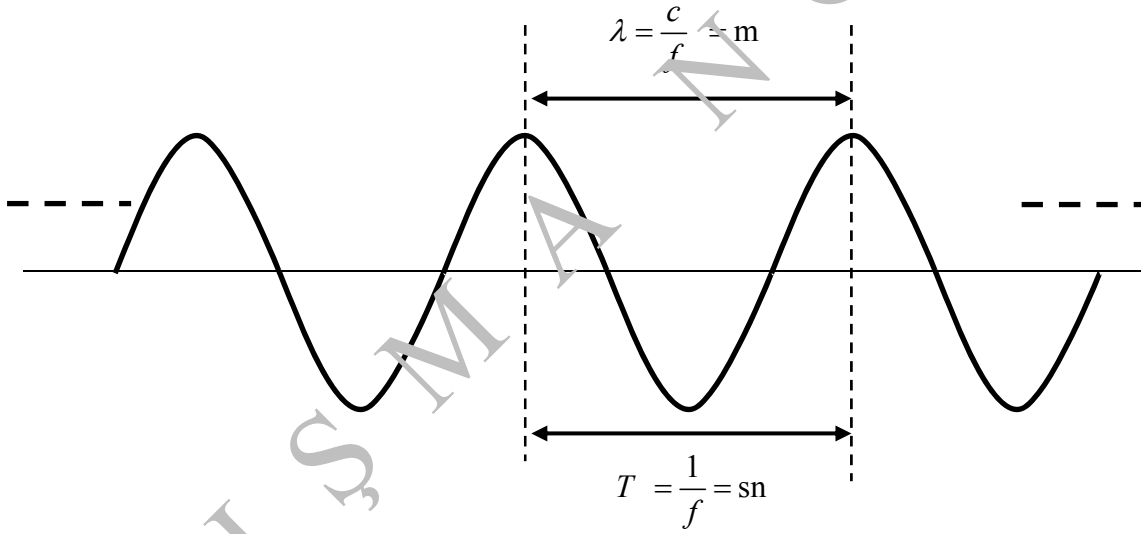
ELEKTROMANYETİK DALGA

Elektromanyetik (EM) dalgalar birlikte değişen ve birbirine dik düzlemdeki elektrik ve manyetik alanlardan oluşur. Uzayda değişen elektrik alanlar manyetik alanları oluşturur. Bu değişim sinüzoidal (sinüs fonksiyonunun şekli) bir eğri şeklindedir. Bir ortamda elektrik alanı değiştirmek için yüklü cisimleri ivmeli hareket ettirmek gerekir. Dolayısıyla ivmeli hareket eden yükler elektromanyetik dalga yayar.



Şekil 21. Elektromanyetik dalga

Görünür olması itibariyle ışığın özellikleri genelde ilgi çekmiş ve araştırılmıştır. 1864 yılında James Clerk Maxwell ışığın elektromanyetik dalgalarından oluştuğunu fark ederek ışığın değişen bir elektrik alanı (E) ve yine değişen ve elektrik alanına dik olan bir manyetik alan (B)'den oluştuğunu ileri sürdü. Buna göre elektrik ve manyetik alanın oranı her noktada aynı idi. Bu özellikteki EM dalgalar diğer dalgalarından farklı olarak ilerleyebilme için bir ortam gerekmiyordu. Maxwell tespit edilen elektromanyetik dalgaların uzay boşluğunda 2.998×10^8 m/s 'lik bir hızla ilerlediklerini gösterebildi. Her dalga gibi bu dalgalar da devamlı dalgalar idi. Yani parça parça değillerdi. Elektromanyetik dalga basitlik açısından sinisoidal bir dalga gibi göz önüne alındığında şekilden de görüldüğü gibi,



Şekil 22. EM dalgada frekans ve dalga boyu

İki tepe noktası arasındaki mesafe (metre), dalga boyu olarak (λ) anılmaktadır. Dalganın frekansı (f), ve dalga hızı ışık hızı olarak c ise, bu durumda EM dalganın yayılım hızı,

$$\lambda = \frac{c}{f} = m \text{ veya } f = \frac{c}{\lambda} = \text{Hz}$$

olarak tespit edilmiştir. Dalga boyu ile frekans arasındaki ilişkinin ters orantılı olduğunu görmekteyiz. Buna göre kısa dalga boylu dalgalar, yüksek frekanslı dalgalar iken (kuvvetli sinyal), uzun dalga boylu işaretler ise düşük frekanslı dalgalar (zayıf sinyaller) olarak düşünülecektir.

Maxwel denklemleri, ışık hızı ile yayılan elektromagnetik dalgaların varlığını öngürür. Bu öngörü elektromagnetik dalgaları ilk defa üreten ve onları algılayan Hertz tarafından 1887 yılında deneysel olarak doğrulanmıştır. Elektromanyetik dalgalar, birçok doğal ve insan yapımı kaynaklar tarafından yayılmakta ve hayatımızda önemli bir rol oynamaktadır. Radyo Frekans (RF) bölgesinde yer alan elektromanyetik dalgalar haberleşmede, radyo ve televizyon yayınlarında kullanılmaktadır.

EM dalgalar yayılımı için ortam gerekmeden, boşlukta c ışık hızı (3×10^8 m/sn) ile yayılan enine dalgalardır. Elektromanyetik dalgalar, frekansına göre değişik tiplerde sınıflandırılmıştır. EM dalgalar dalga boylarına göre radyo dalgaları, mikrodalga, kızılötesi, görünür ışık, morötesi, X-ray ve Gama ışını olarak ayrılırlar.

Elektromanyetik Dalgaların Özellikleri

- Boşlukta düz bir doğrultuda yayılırlar.
- Hızları ışık hızına eşittir.
- Geçtikleri ortama, frekanslarıyla doğru orantılı, dalga boylarıyla ters orantılı olmak üzere enerji aktarırlar.
- Enerjileri; maddeyi geçerken yutulma, saçılma nedeniyle azalır, boşlukta ise uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalır.

Antenler

Nikola Tesla 1891 li yıllarda enerjiyi uzun mesafelere iletmek için çalışmalar yapan ilk bilim adamıdır. Tesla'nın alternatif akım buluşu elektrik enerjisinin kitlesel kullanımına önemli katkı yapmış, elektrik enerjisinin endüstriden evlere değin her yere girmesini sağlamıştır. Tesla'nın katkıları sonucu havada yüksek gerilim ve yüksek frekanslı işaretlerin iletimi mümkün olmuştur. Haberleşme mühendisliğine önemli avantaj sağlayan bu katkılarla sağlanan yüksek gerilime ve yüksek frekansa sahip EM dalgaların iletimi için antenler ön planda olmuştur.

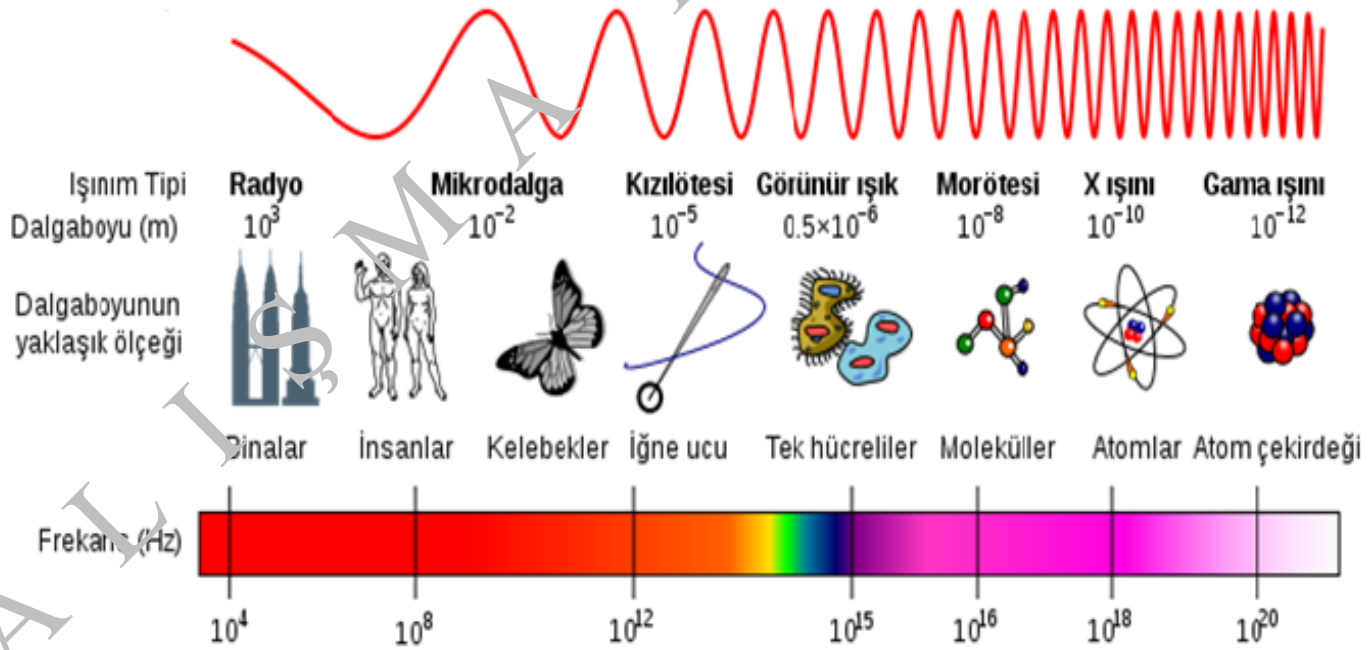
Antenler kablosuz haberleşme (wireless communication) imkanı sağlayan önemli elemanlardır. Haberleşme amacıyla iletilmek istenen bilgi kablo yöntemiyle gönderilemeyecek çok uzak mesafelere elektromanyetik dalga kullanılarak antenler vasıtasıyla iletilir. Bunun için verinin yani iletilecek mesajın bir şekilde elektromanyetik dalgaya dönüştürülmesi ardından antenlerle transferi gerekir. Bu nedenle mesaj/veri önce uygun yöntemlerle uygun sinyale yani elektrik enerjisine dönüştürülür.

Ardından elektromanyetik dalganın olağan üstü hızından yararlanmak için elektrik enerjisi şeklindeki data bu kez anten kullanılarak kodlanmış (modüle edilmiş) formdaki elektromanyetik dalgaya dönüştürülerek boşlukta ilettime hazır hale getirilir. Bu gönderici (transmitter) tarafındaki antenin işlevidir. Mesajın uzak mesafelere iletildiği alıcı (receiver) anten de ise başlangıçtaki işlemlerin tersi olur. Elektromanyetik dalga formundaki kodlanmış (modüle edilmiş) işaret önce alıcı anteni vasıtasıyla EM dalga formundan antenle elektrik enerjisi formuna dönüştürülür. Elde edilen elektrik enerjisindeki mesaj işareti demodülasyon yöntemleri uygulanarak tekrar asıl mesaja elde edilir. Bu nedenle antenler elektrik enerjisini EM dalgaya dönüştüren, aynı zamanda EM dalgayı elektrik enerjisine dönüştürebilen önemli bir elemandır.

Elektromagnetik Spektrum

İşaretlerin frekans ve dalga boylarına göre sınıflandırıldığı tablodur. En genel haliyle aşağıdaki dalgalardan oluşur.

Dalga	Frekans (Hz)	Dalga boyu (m)
Radyo	$(0.5-1600).10^6$ Hz	0.187 – 600 m
AM Radyo	$(0.5-1.5).10^6$ Hz	600 – 200 m
KısaDalga Radyo	$(1.605-54).10^6$ Hz	187 - 5.55 m
TV-FM Radyo	$(54-1600).10^6$	5.55 – 0.187 m
Mikrodalga (radar)	$(1.6-30).10^9$ Hz	187 – 10 nm
Infrared	$(0.003-4).10^{14}$ Hz	1 mm – 750 nm
Görünür	$(4-7.5).10^{14}$ Hz	750 – 400 nm
Ultraviolet	$7.5.10^{14} - 3.10^{16}$ Hz	400 – 10 nm
X-Ray	$\geq 3 \times 10^{16}$ Hz	<10 nm
Gamma	$\geq 10^{20}$ Hz	$<10^{-12}$ nm

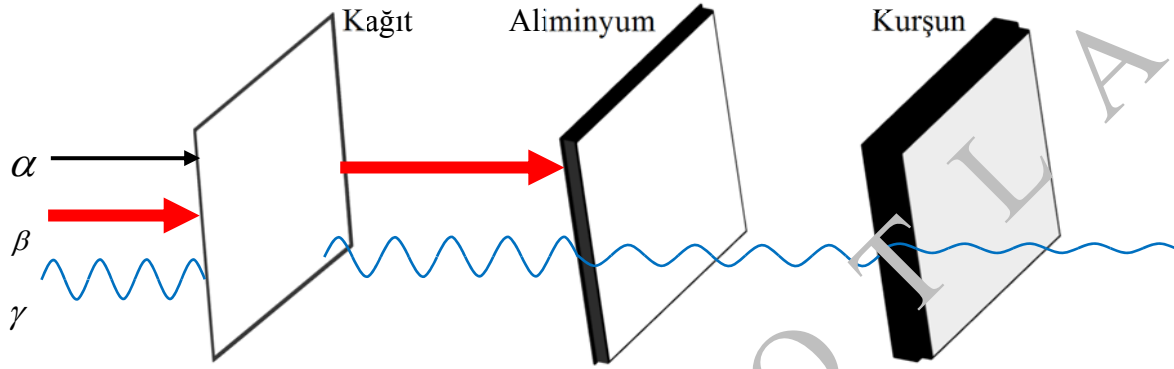


Şekil 23. Elektromagnetik spektrum

Elektromanyetik dalgalar, sadece dalgaboylarına göre değil, aynı zamanda frekans ve enerjilerine göre de tanımlanmaktadır. Bunu şu şekilde açıklayabiliriz: bir radyo dalgasının frekansı veya bir mikrodalga'nın dalgaboyu veya bir x-ışınının enerjisi hakkında konuşmak doğru olmaktadır. Bir elektromanyetik spektrumu en uzun dalgaboyundan en kısa

dalgaboyuna sırasıyla ifade edersek, radyo dalgaları, mikrodalga, kırmızıaltı, görünür bölge, morötesi, x-ışınları ve gamma-ışınları biçiminde sıralanmaktadır.

Radyasyon veya **Işınım**, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji yayımı ya da aktarımıdır. "Radyoaktif maddelerin alfa, beta, gama gibi ışınları yayması"na veya "Uzayda yayılan herhangi bir elektromanyetik ışını meydana getiren unsurların tamamı"na da *radyasyon* denir. Bir maddenin atom çekirdeğindeki nötronların sayısı, proton sayısına göre oldukça fazla ise; bu tür maddeler kararsız bir yapı göstermekte ve çekirdeğindeki nötronlar alfa, beta, gama gibi çeşitli ışınlar yaymak suretiyle parçalanmaktadırlar. Çevresine bu şekilde ışın saçarak parçalanmış maddelere *radyoaktif madde* ("ışınımsal madde") denir.



Şekil 15. α, β, γ Dalgalarının nüfuz etkisi

Görüldüğü gibi α dalgası kağıt levha tarafından bile engellenirken, β dalgası kağıdı geçip alüminyum levhanın ötesine geçememektedir. γ dalgası ise aksine alüminyum ve kurşun levhadan zayıflayarak da olsa geçebilmektedir. Kurşun levhanın kalınlığı artması halinde γ dalgasının geçmesi zorlaşacaktır. Bu anlamda bu tür ışınların geçişine engel olacak kurşun levhalarla ortamın izole edilmesine zırhlama denilmektedir. Zırh kalınlığı arttıkça bu tür ışınlar maruz kalma etkisi azalmaktadır. Beton kullanılması durumunda kurşuna kıyasla çok daha kalın beton kalıplarına ihtiyaç duyulacaktır (kurşun için minimum zırh kalınlığı 1.24 cm iken, beton duvar için bu kalınlık minimum 6.6 cm dir).

Örnek

a) $x(t) = 12 \sin 2\pi t$

b) $y(t) = 2 \sin 8\pi t$

c) $z(t) = 12 \sin 4\pi t$

Hangi işaret daha güçlüdür ?.

Çözüm

Verilen işaretler $t = (-\infty, \infty)$ sonsuz aralığında periyodik olduklarından, güç işaretleri olup, ortalama enerjilerinden söz edilebilir. Bu durumda aynı periyodik sinüsoid işaretlerin gücünü belirleyen parametrenin ne olacağının bilinmesi gerekir. Bilindiği gibi periyodik sinüsoid işaretler

$$s(t) = A \sin(Bt \pm C)$$

olarak göz önüne alındıklarında temel parametreleri genlik (A), frekans (B) ve faz (C) dir. Bunlardan hangilerinin gücü belirlemektedir, bilmemiz gerekiyor. Bunun için ortalama enerji bağıntısına bakmak gerekir.

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt$$

İfadeden fark edildiği gibi gücü belirleyen $|x(t)|^2$ olarak genlik (A) olduğunu görmekteyiz. Buna göre işaretin frekansının (B) veya fazının (C) enerjisi/gücü belirleyici olmadığını görmekteyiz. Verilen sinusoidal sinyallerin pratik olarak güçleri, genliklerinin karelerinin yarısı alınarak hesaplanabilir.

$$s(t) = A \sin(Bt \pm C) \rightarrow P = A^2 / 2$$

$$x(t) = 12 \sin 2\pi t \rightarrow P_x = 12^2 / 2 = 72 \text{ Watt}$$

$$y(t) = 2 \sin 8\pi t \rightarrow P_y = 2^2 / 2 = 2 \text{ W}$$

$$z(t) = 12 \sin 4\pi t \rightarrow P_z = 12^2 / 2 = 72 \text{ W}$$

Buna göre bir ve üçüncü işaretleri aynı genlikte olduklarından enerjileri de eşittir ($P_x = P_z$). Sonuçta sıralama aşağıdaki gibi olur.

$$P_x = P_z > P_y$$

Ses Dalgaları (akustik dalgalar) : Saniyede 340 m/sn hızla yayılan mekanik dalgalar olarak ses, gaz, sıvı, katı ve plazmalar yoluyla yayar. Sesin maddesi ortamda yayılma sebebi, sesin enerji olarak bitişik iletkenler vasıtasıyla son noktaya kadar iletilebilmesidir. Durum domino taşlarındaki organizasyona benzer ve domino etkisinden söz edilebilir.

Ses Dalgalarının Maddesel Ortamlarda Yayılma Nedeni

Ses bir enerji türüdür ve dalgalar halinde yayılır. Ses dalgalarının yayılabilmesi için ses dalgalarının kaynağından çıktığı ortamda maddeyi oluşturan taneciklerin (moleküllerin veya atomların) olması gerekir. Bu nedenle ses dalgaları katı, sıvı ve gaz gibi maddesel ortamlarda yayılabilir.

Boşlukta, maddesel ortam yani tanecikler olmadığı için ses boşlukta yayılmaz. Bunun nedeni de ses kaynaklarının titreşimleri sonucu yaydıkları titreşim enerjilerinin yayılabilmesi için taneciklere ihtiyaç vardır.

Bazı hayvanların yaydıkları dalgaların ses frekansları aşağıdaki gibidir.

Yarasa: 2-110 kHz

Köpek: 60 Hz-45 kHz

Yunus: 0,2-150 kHz

Balık: 10-75 kHz

Fare: 200 Hz - 80 kHz

Horoz: 125 Hz-2 kHz

Kedi: 100 Hz-60 kHz

Örnek Bir öğrenci bir dağın karşısında bağırdıktan 10 saniye sonra sesini duyuyor. Sesin havadaki hızı 340 m/s olduğuna göre öğrencinin dağa uzaklığı kaç km dir

Çözüm

$$s = v \frac{t}{2} = 340 \frac{10}{2} = 340.5 = 1700 \text{ m}$$

ÇALIŞMA NOTLARI