

Temel Radar Prensipleri & Elektronik Karistirma Teknikleri

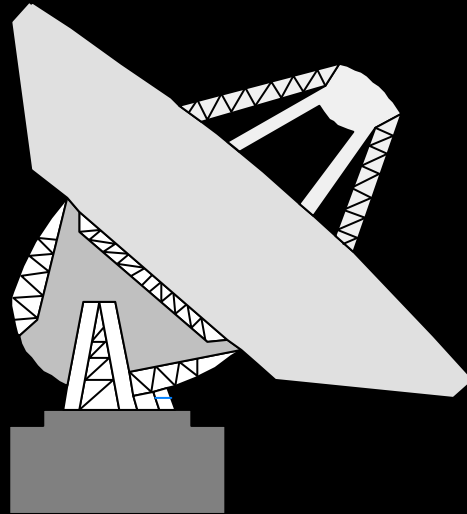
**Ütgm. Erdinç ETKİN
HUTEN
Bilgisayar Mühendisligi**

Temel Radar Prensipleri

- **RADAR - Radio Detection And Ranging**
 - Cisimlere ait mesafe ve açı (azimuth, elevation) bilgisi verir
 - Elektromanyetik Enerji'nin bir cisme çarparak geri dönmesi sonucu aradaki geçen zamana bağlı olarak mesafe ve yön bilgilerini ölçer

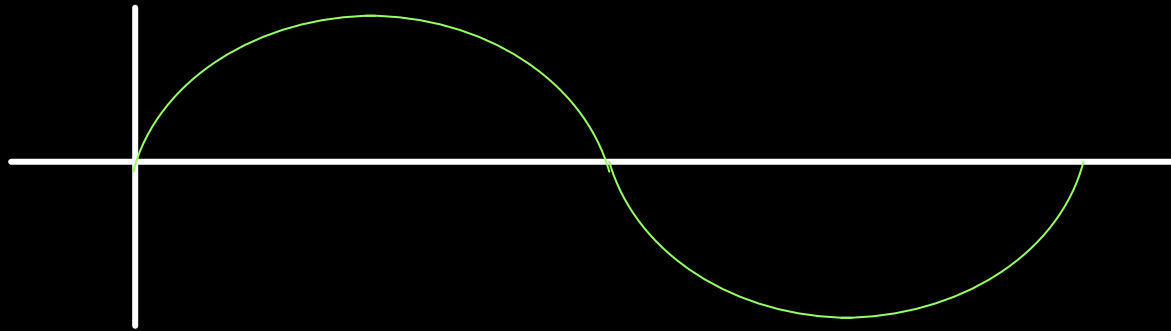
Temel Radar Prensipleri

- Optik cihazlara göre çok büyük avantajlara sahiptir
 - Algılama mesafesi çok daha yüksektir
 - Bulut, duman, gece ve benzeri şartlarda görev yapar
 - Hassas ölçüm yapma imkanı verir



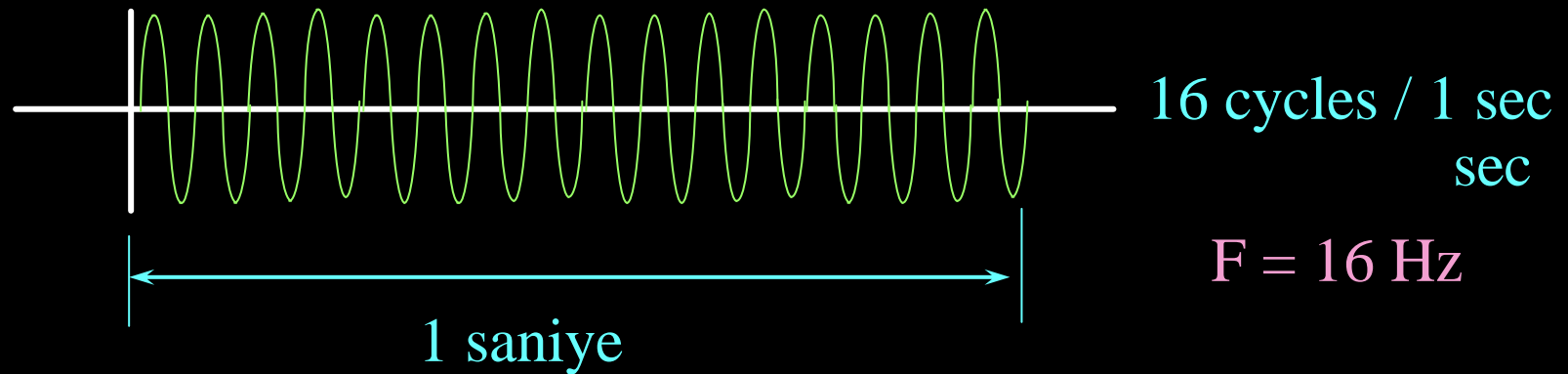
DALGA

- . Ortalama seviyeden asagi yukari sinuzoidal salinimler yapan enerjiler.



Frekans (f) / Periyot (T)

- 1 saniyedeki salinim (Cycles) adedi. Hertz cinsinden ifade edilir.



$$F = 16 \text{ Hz}$$

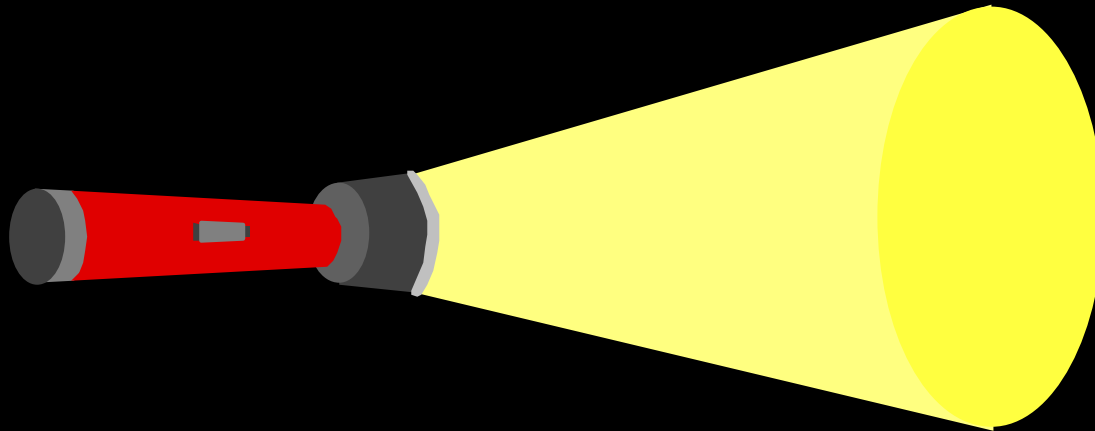
$$T = 1/f$$

Hiz

EM enerji isik hizinda seyahat eder:

3×10^8 metre/saniye

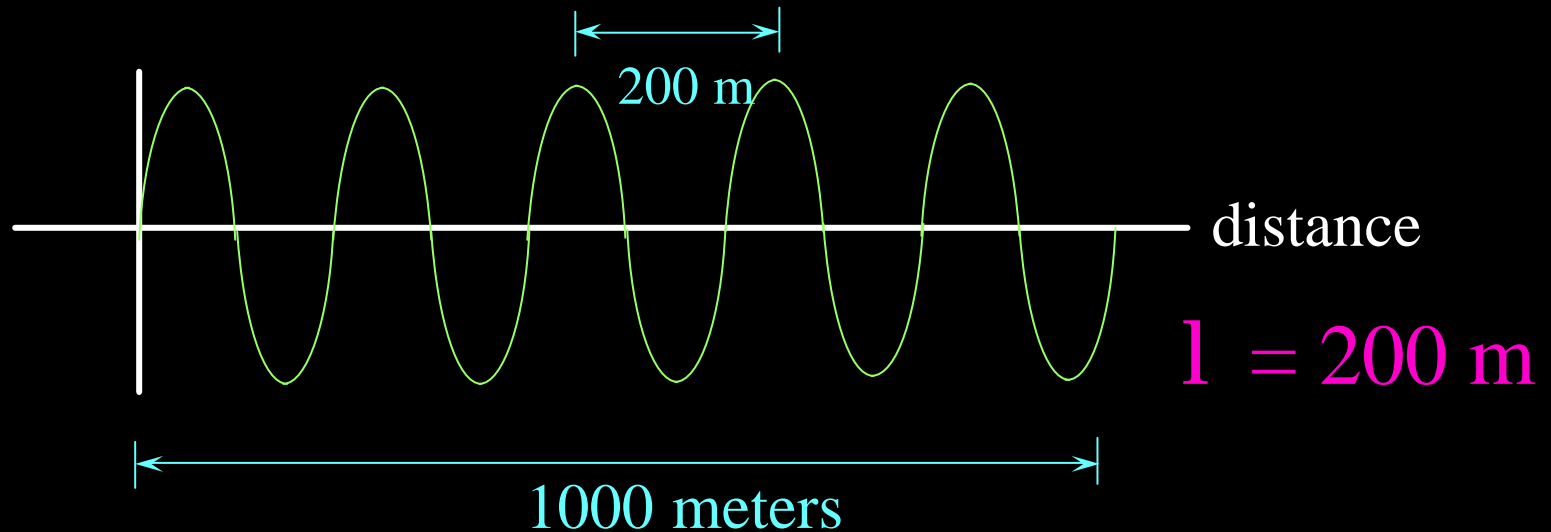
Isik hizi(c)



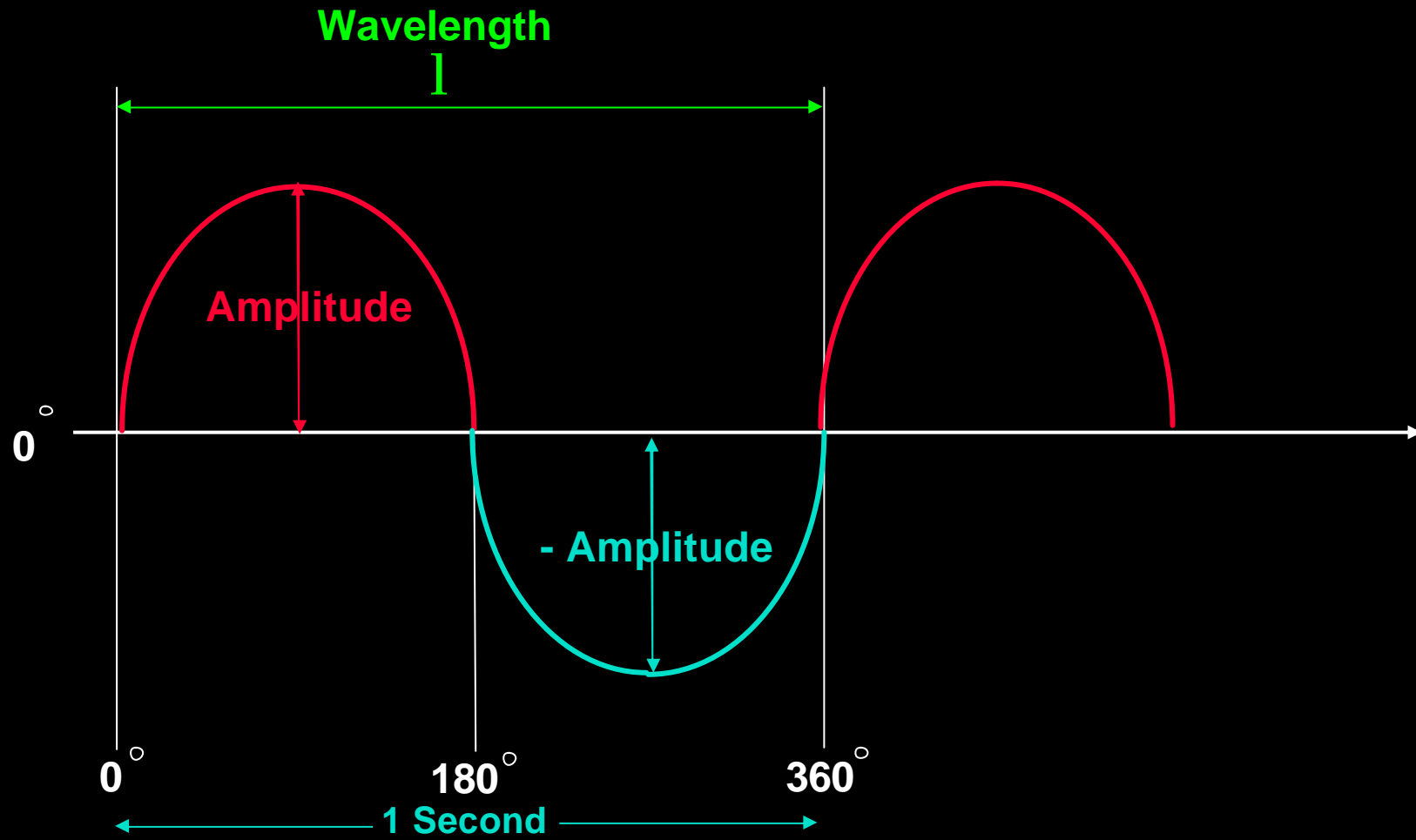
DALGA BOYU

- Bir EM dalganın kapladığı mesafe (Lambda: λ)

$$\lambda = c / f$$



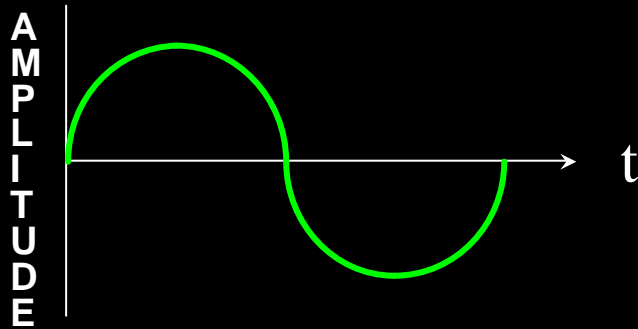
Amplitude (Sinyal Gücü)



Therefore Frequency = 1 Hertz (Hz)

Zaman ve Frekans Domaini

Sinyalin zaman ekseninde görünümü.

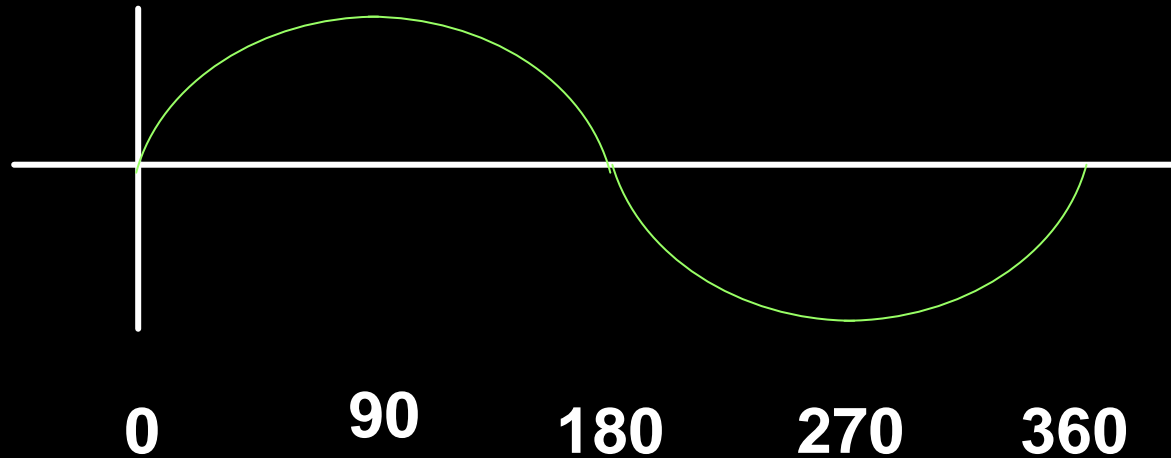


Sinyalin Frekans Ekseninde görünümü.

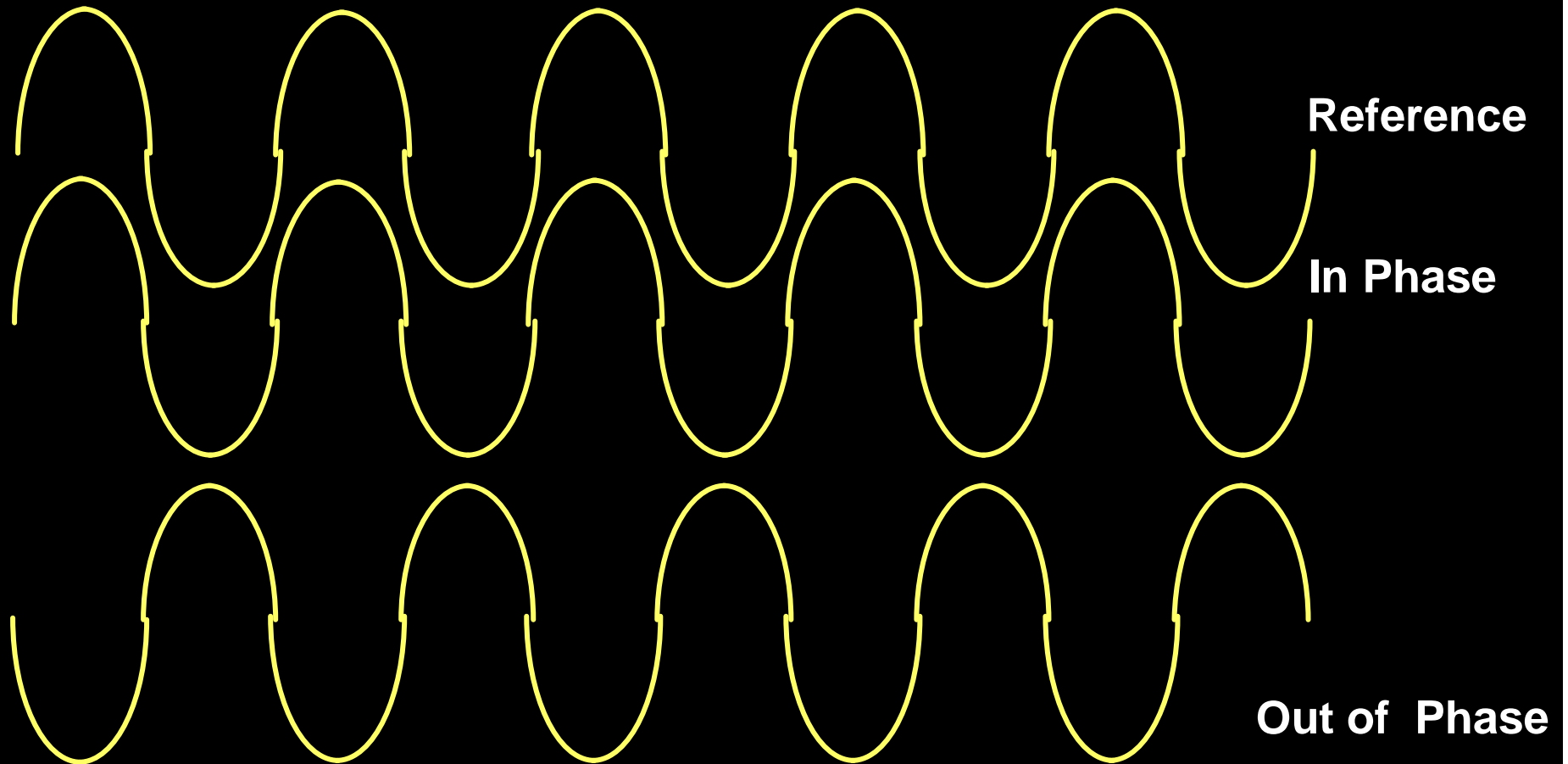


Phase

Bir tam sinyal içindeki her noktanın açısıl ifadesi.

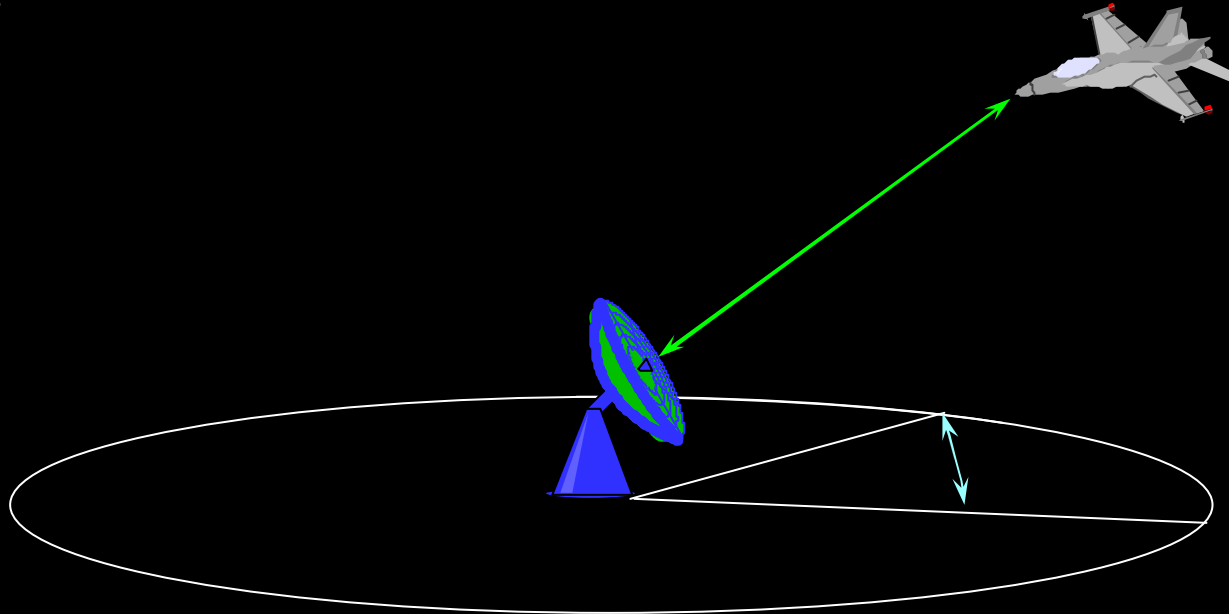


Phase



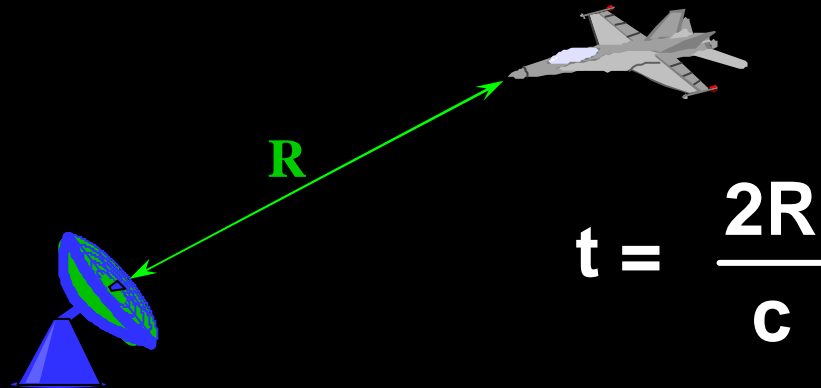
Mesafe ve Açı (Azimuth, Elevation) Ölçme

- **Mesafe:** Sinyal'in hedefe çarpıp geri dönme süresi.
- **Açı:** Antenin yayın yaptığı esnada baktığı yön.



Temel Radar Prensipleri

- Radar sinyalleri ışık hızında seyahat ederler. Bu nedenle aşağıdaki formülle hedefin mesafesi bulunabilir:
 - **Mesafe (NM)** = sinyalin seyahat süresi (msec)
12.4 msec /NM
 - 12.4 msec : sinyalin 1 Mil mesafeyi gidip gelmesi için gereken süre



Temel Radar Prensipleri

. Temel Radar Donanımı

– Transmitter:

» Bir sinyal yayınlamak için gerekli tüm componentleri içerir

– Duplexer:

» Aynı antenin hem sinyal yayma hem de algılama için kullanılabilmesi için gereken komponent

◆ Receiver inputlarını transmit esnasında bloke eder.

◆ Receiver'in transmitter çalışmadığı süre boyunca dönen sinyalleri algılamasına mücade eder

Temel Radar Prensipleri

– Anten

- » **Transmitter'dan sinyalleri toplayarak atmosfere yayar ve atmosferden algılanan enerjiyi receiver'a aktarır**

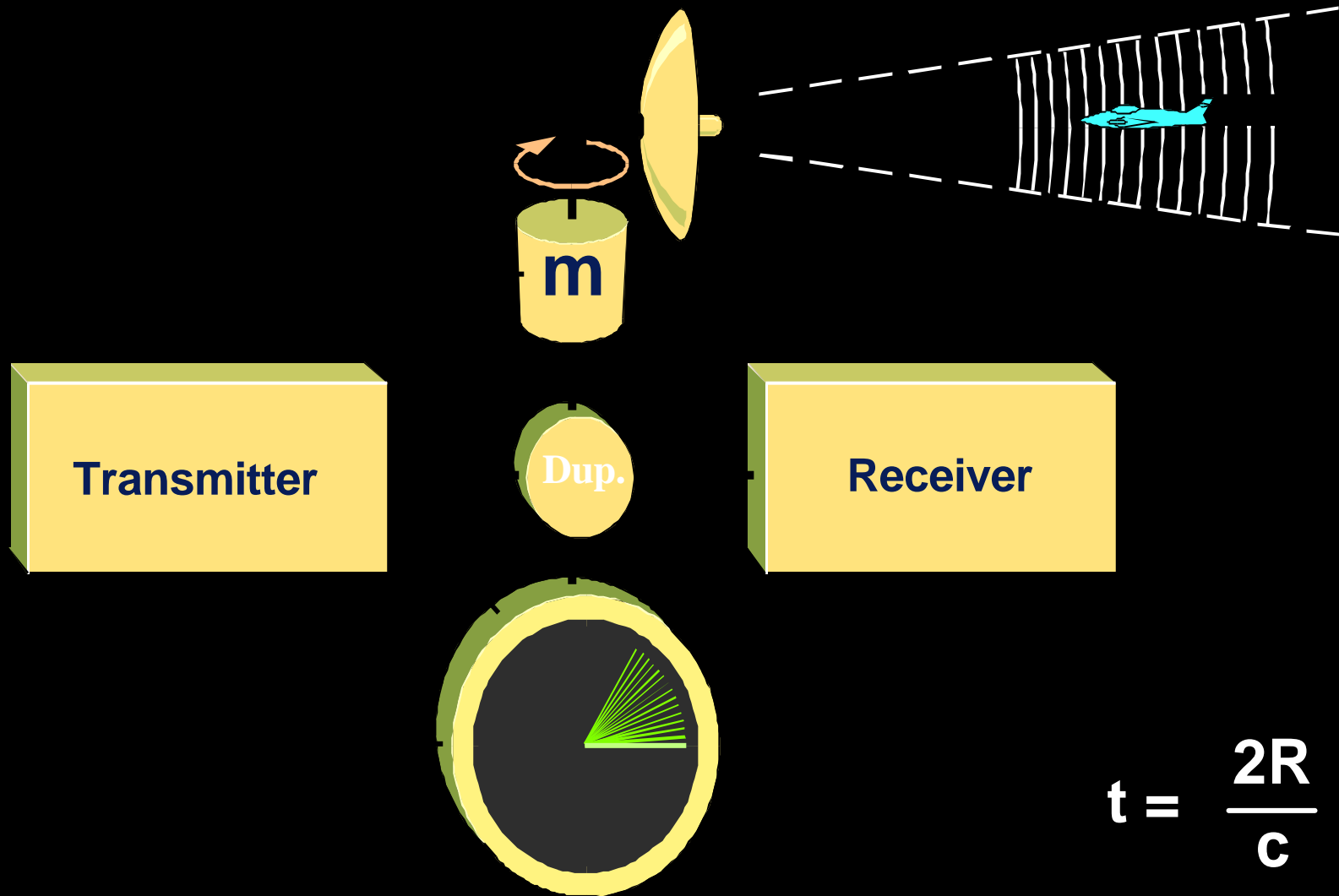
– Receiver

- » **Geri dönen ekolari işleyerek kullanılabilir bir formata sokan komponentlerin tümü**

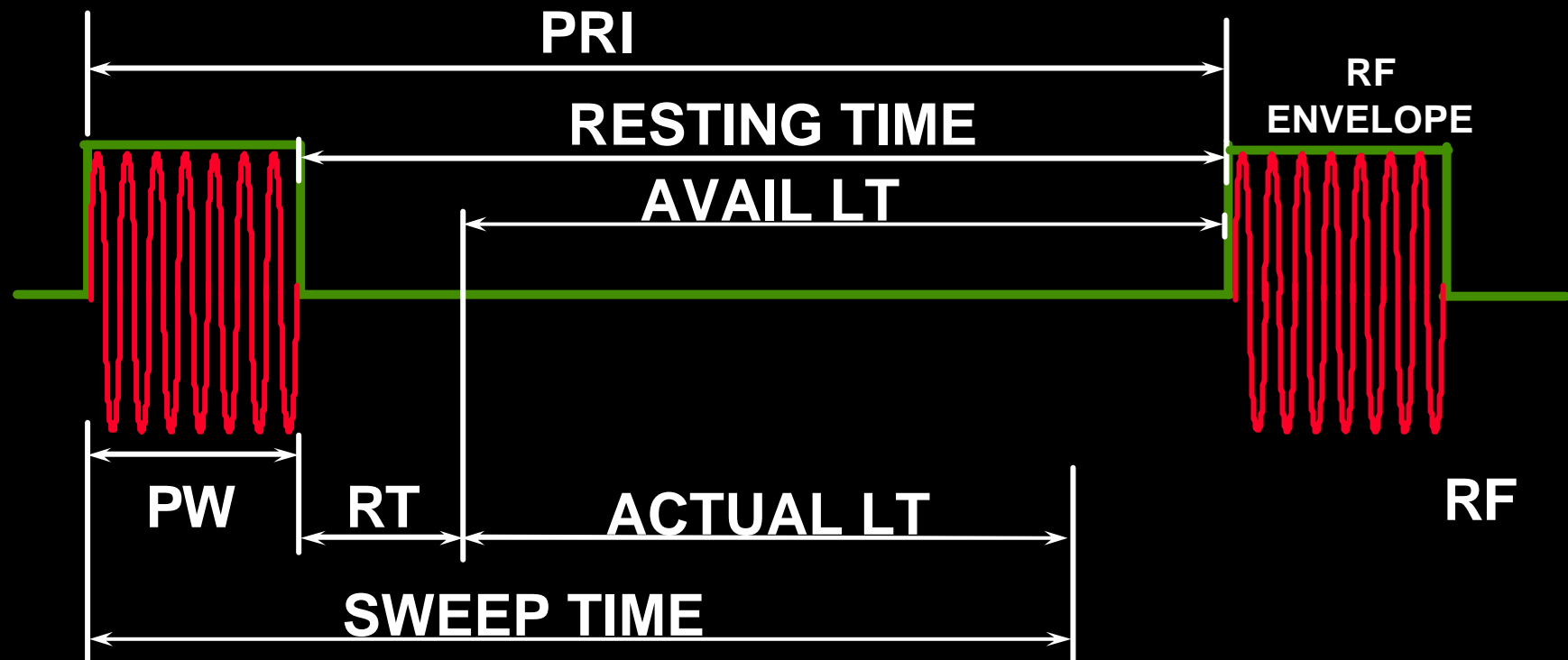
– Skop

- » **Dönen ekoların operatöre gösterildiği bölüm**

Temel Radar Prensipleri



Radar Sinyal Terminolojileri



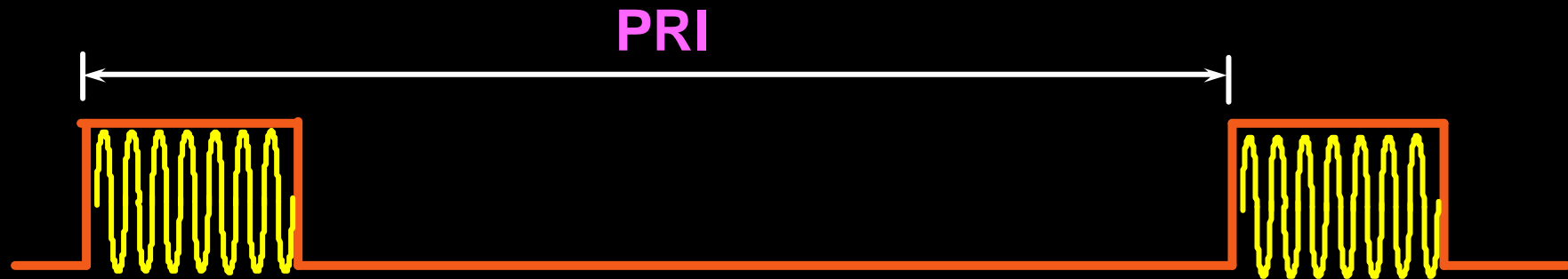
Pulse Width (PW)

- Radar'ın RF enerjiyi yaydığı esnada geçen süre
- Büyük PW daha güçlüdür, ancak daha zayıf mesafe çözünürlüğü vardır, genelde arama radarlarında kullanılır.
- Küçük PW, mesafe çözünürlüğü daha yüksektir, daha keskin (kare dalgaya yakın) sinyaller, genelde “Hedef Takip Radarlarında” kullanılır.



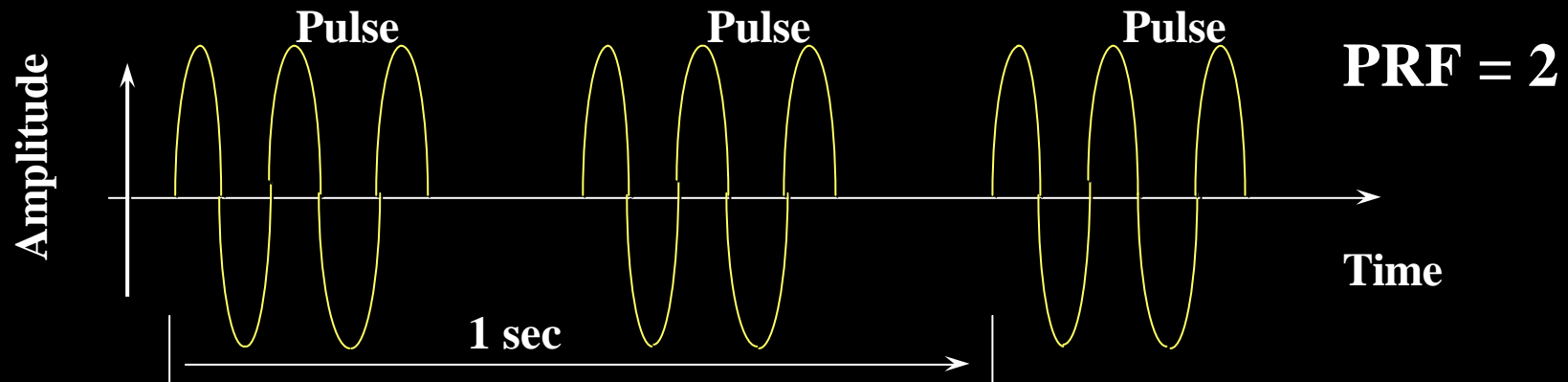
Pulse Repetition Interval (PRI)

- Bir Transmission sürecinin tamamlandığı, iki sinyal arasında geçen süre



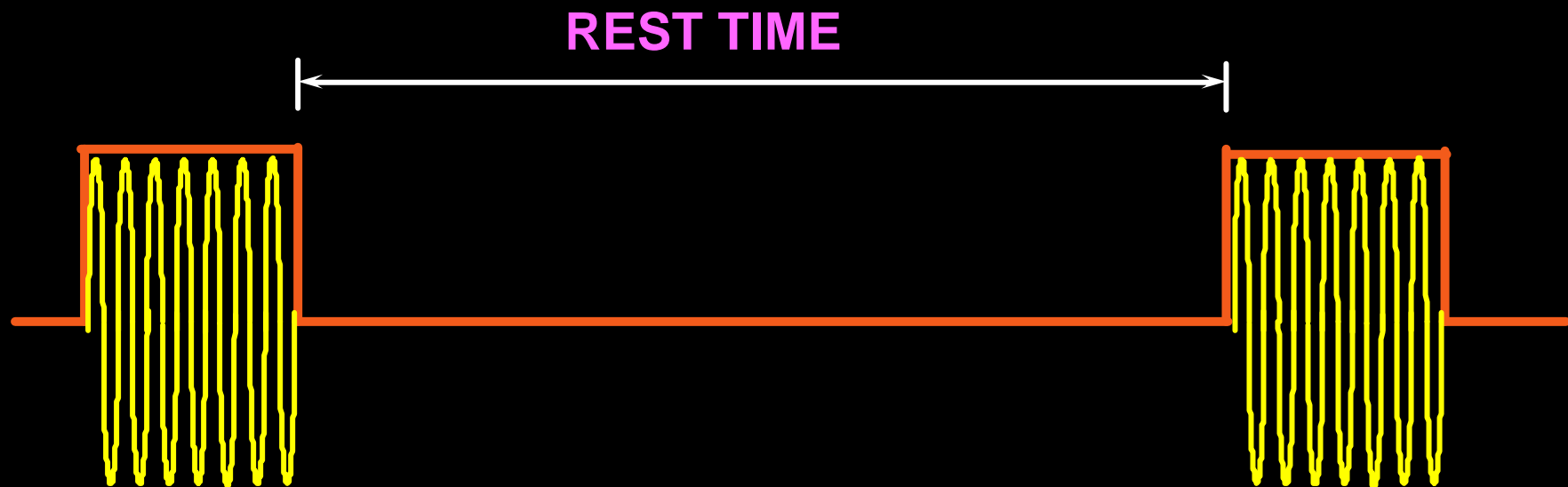
Pulse Repetition Frequency (PRF)

- Birim zamanda radarin transmit ettiği sinyaller
- $PRF = 1/PRI$
- Daha Yüksek PRF = Daha kısa Mesafe ölçümü, ancak daha sık update ettiği için daha doğru bilgi



Rest Time

- Bir sinyal bitiminden diğer sinyalin başlangıcına kadar geçen süre.
- $\text{Rest Time} = \text{PRI} - \text{PW}$



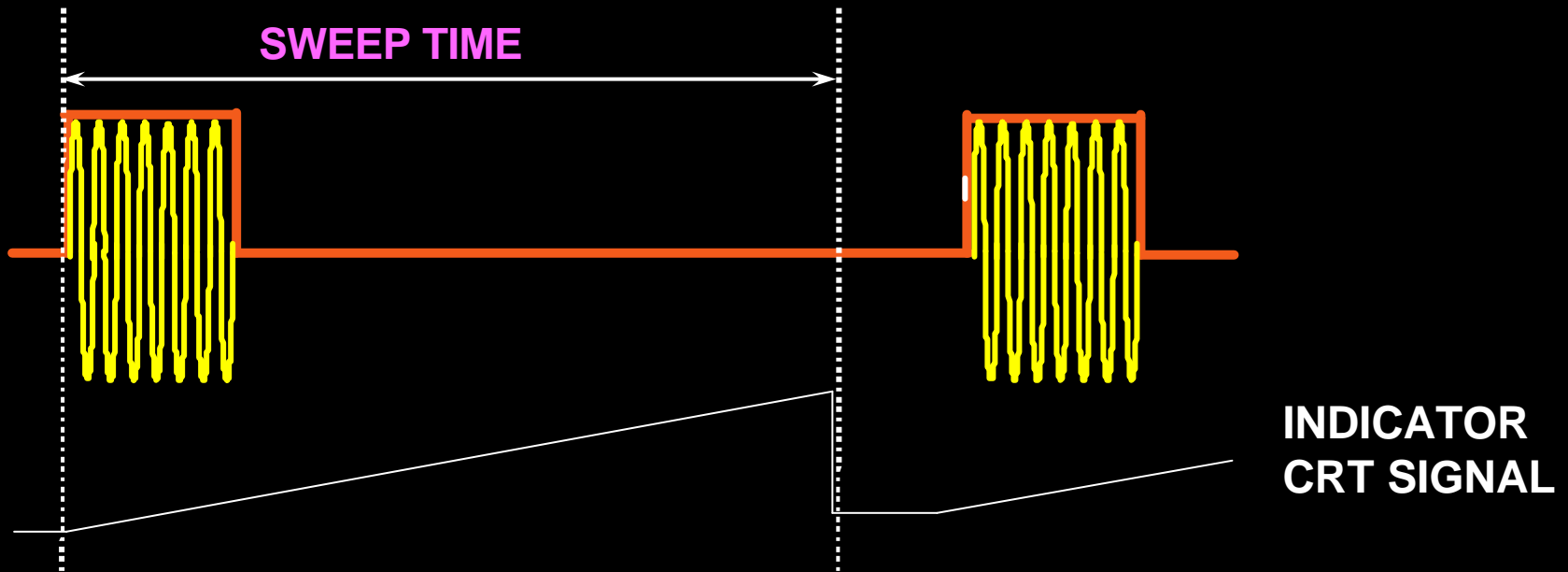
Recovery Time (RT)

- PW'ten sonra, Radar'ın gelen sinyalleri isleyemediği süre (Duplexer, TX->RX)



Sweep Time

- Electron Beam'inin SKOP üzerinde süpürme yapabilmesi için gerekli süre

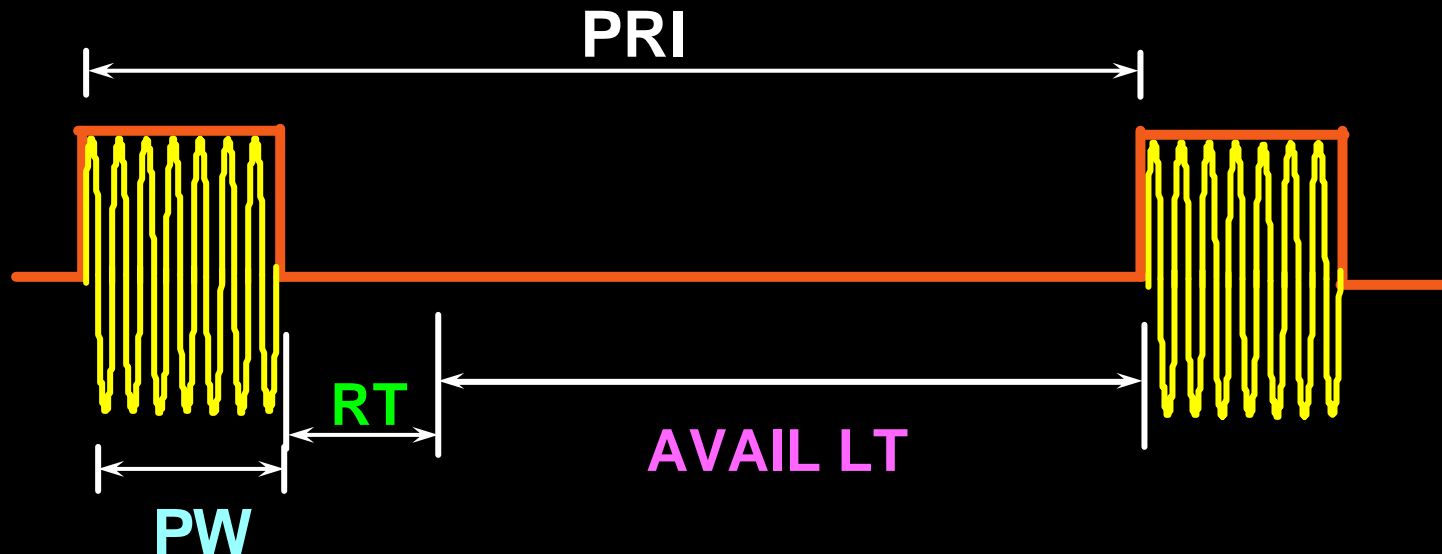


Listening Time

- Receiver'in hedef ekolarini isleyebildigi dinleme süresi
- İki tip dinleme süresi vardır
 - Available LT ve Actual LT

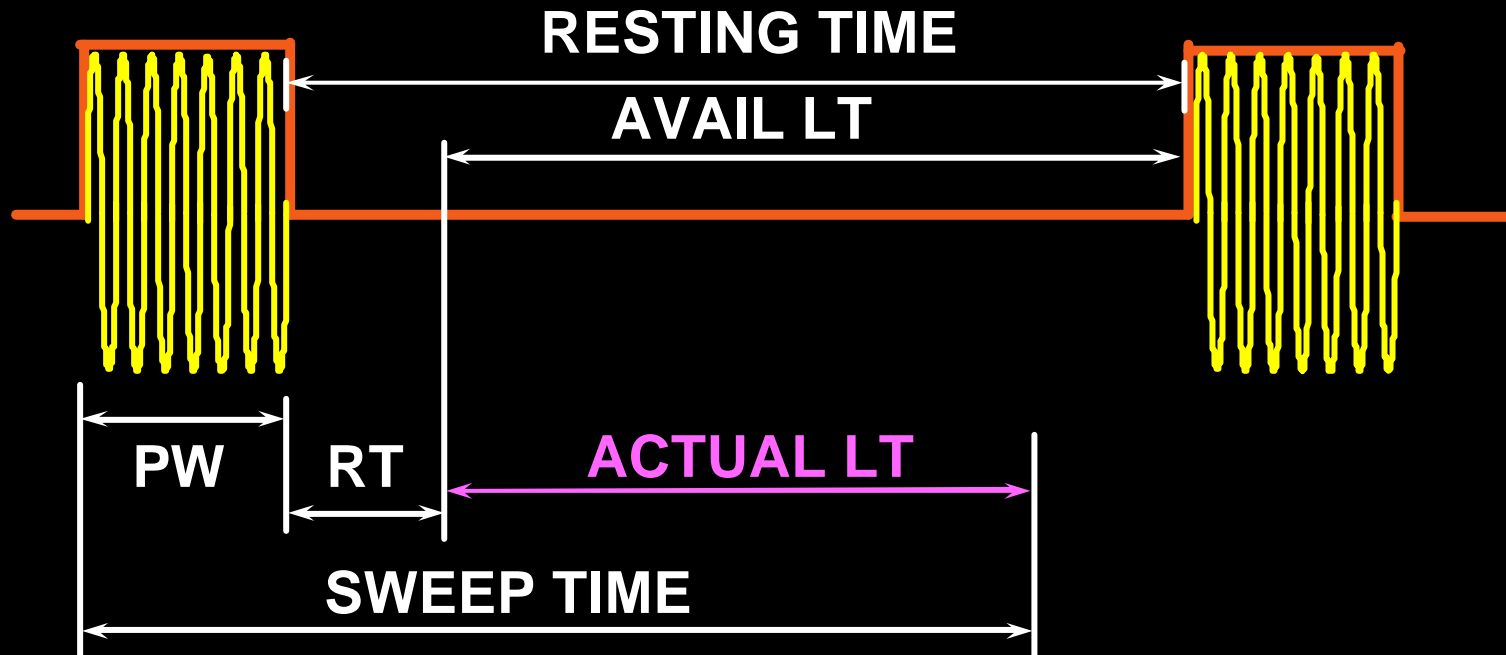
Available Listening Time (LT)

- RT' den diger sinyalin basina kadar olan süre
- Available $LT = PRI - (PW + RT)$



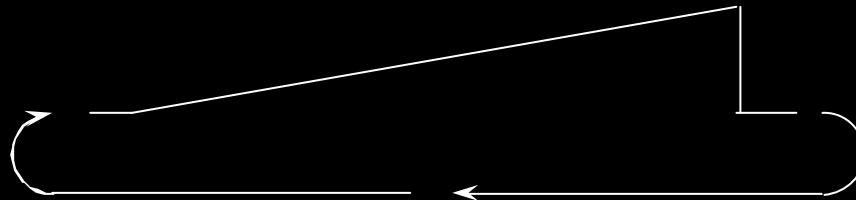
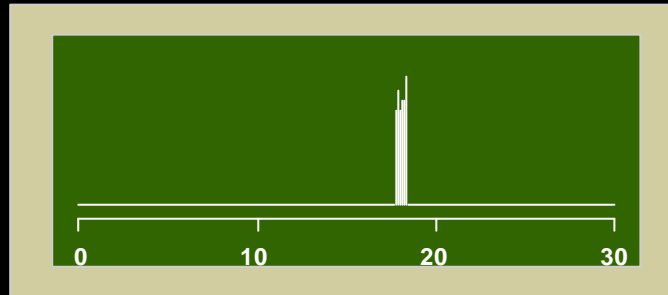
Actual Listening Time

- Sinyallerin gerçekten gösterilebildiği süre
- $\text{Actual LT} = \text{Sweep Time} - (\text{PW} + \text{RT})$



Skop Mesafesi

- Skop üzerinde gösterilen mesafe
- Sweep Time parametresine baglidir



INDICATOR
CRT SIGNAL

$$\text{INDICATOR RANGE} = \text{SWEEP TIME (mSEC)} / (12.4 \text{ mSEC/NM})$$

Sinyalin Erisebilecegi Mesafe (Güç)

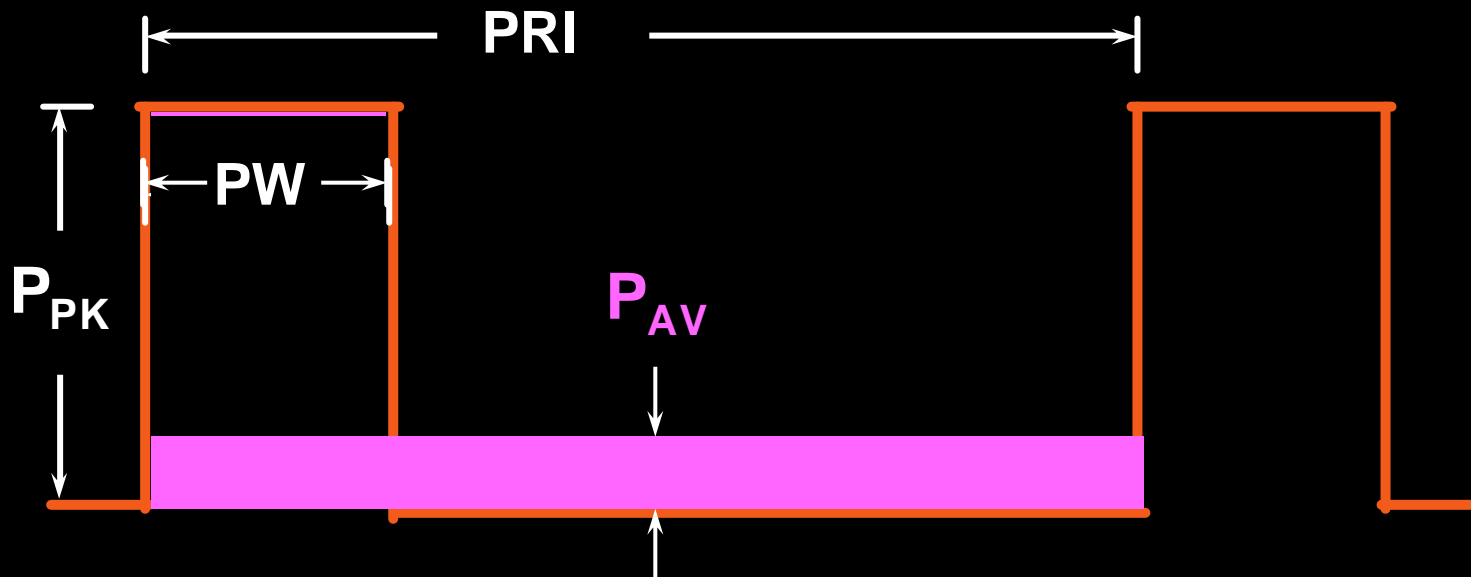
- . Bir sinyalin hedefe ulasip geri döndükten sonra algılanabilmek için gerekli minimum sinyal enerjisi.**

Duty Cycle

- Transmitter'in çalışmasının tüm RX-TX çalışmasına oranı.
- $\text{Duty Cycle} = \text{PW} / \text{PRI}$
- $\text{Duty Cycle} = \text{PW} \times \text{PRF}$

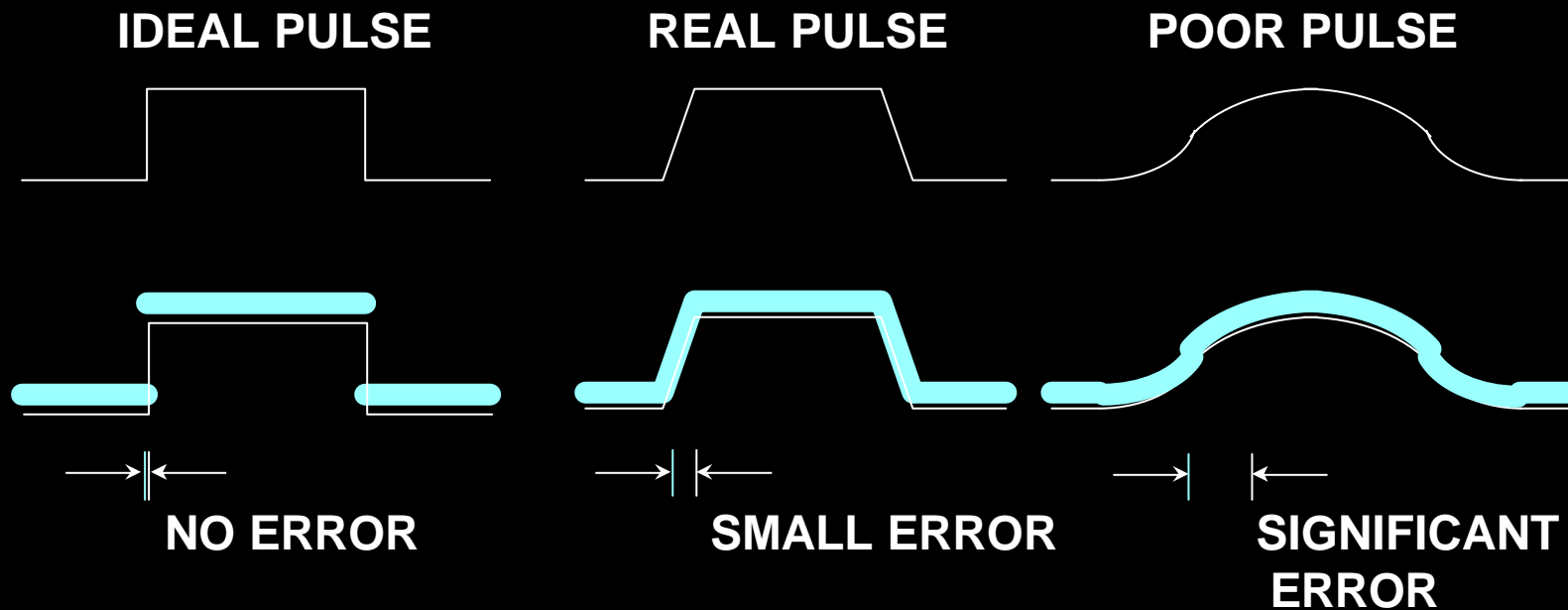
Peak&Average Power

- **Peak** - Max Radar gücü (PW esnasında)
- **Average** – PRI üzerinde dagitilmis güç



Mesafe Hassasiyeti

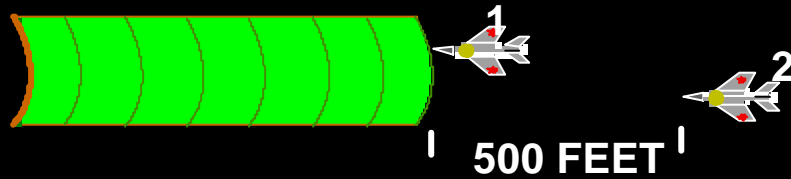
- Radarin mesafe ölçmedeki hassasiyeti
- Sinyalin yükselen kenariyla ilgilidir



Mesafe Çözünürlülüğü

- Aynı azimuth'a düşen ve birbirleriyle yakın mesafede olan hedefleri ayırabilme
- PW'ye bağlıdır ($1/2$ PW).

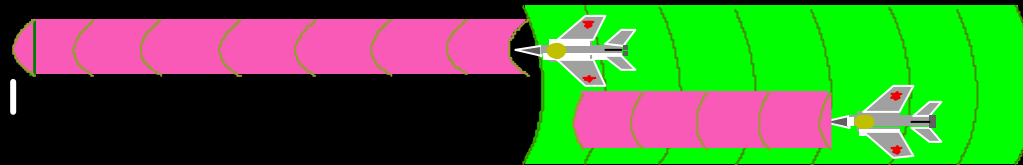
Sinyal öndeki uçağa (#1) ulaşır



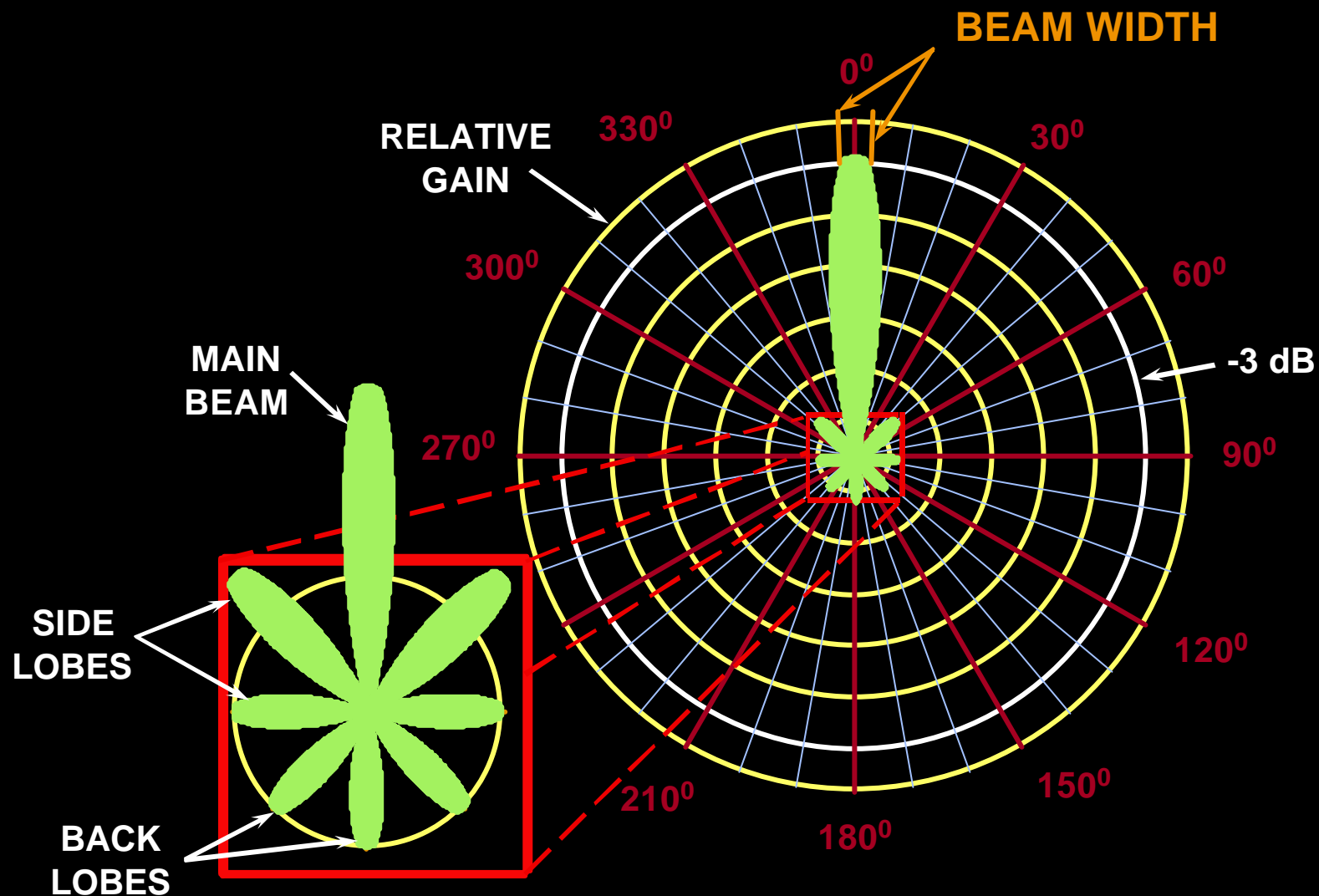
.5 msec ($1/2$ PW) sonra sinyal
492 FEET mesafe alır



1 msec (PW) süre sonra ECHO'lar ayrılabilir.

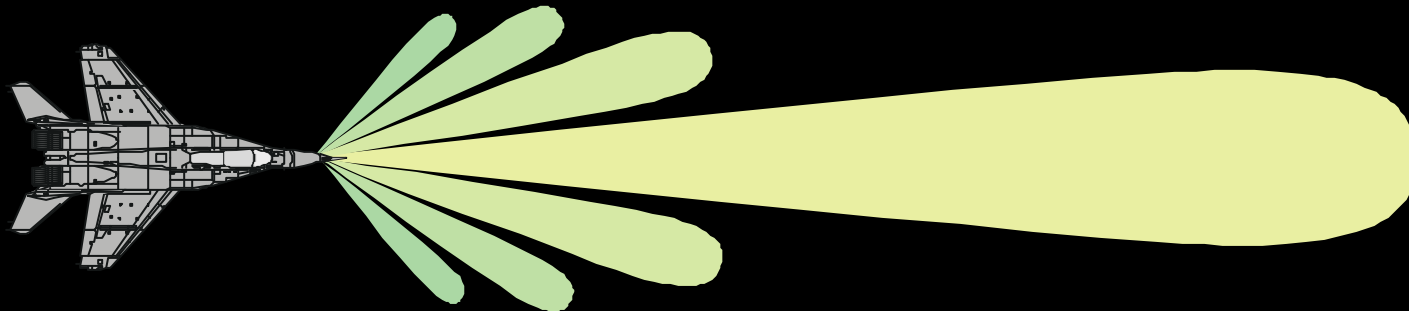


Radar Beam Parametreleri



Radar Beam Paternleri

- Radar enerjisi yogunlastirilarak bir beam seklinde istenen yöne dogru yönlendirilir
 - » Yansiyan sinyallerin algılanmasında Ana Lobe kullanilir.
 - ◆ Beam Width daha dar oldugu sürece, daha iyi azimuth çözünürlüğü ve enerjinin istenen hedefe yönlendirilmesi saglanmis olur.
 - » Yan lobelar istenmeyen bir sekilde enerjinin yayilmasi sonucu olur ve genelde “Elektronik Karistirmaya” daha kolay maruz kalir



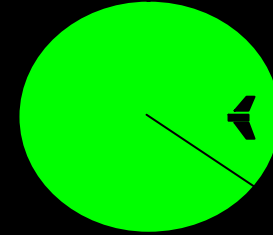
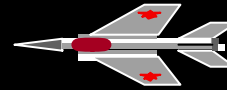
BEAM WIDTH

- **Radar anteninin etkili yayın ve algılama yapabildiği genişlik**
 - Açı cinsinden ölçülür
 - Anten gücünün yarıya düştüğü noktadan ölçülür
- **Horizontal beam width (HBW) – yatay sektördeki Beam Width**
- **Vertical beam width (VBW) – dikey sektördeki Beam Width**

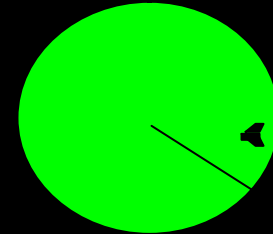
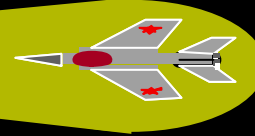
Azimuth Hassasiyeti

- Radar'ın azimuth ölçümündeki hassasiyeti
- Radar Beam'inin sekline bağlıdır

ZAYIF
AZIMUTH
HASSASIYETİ

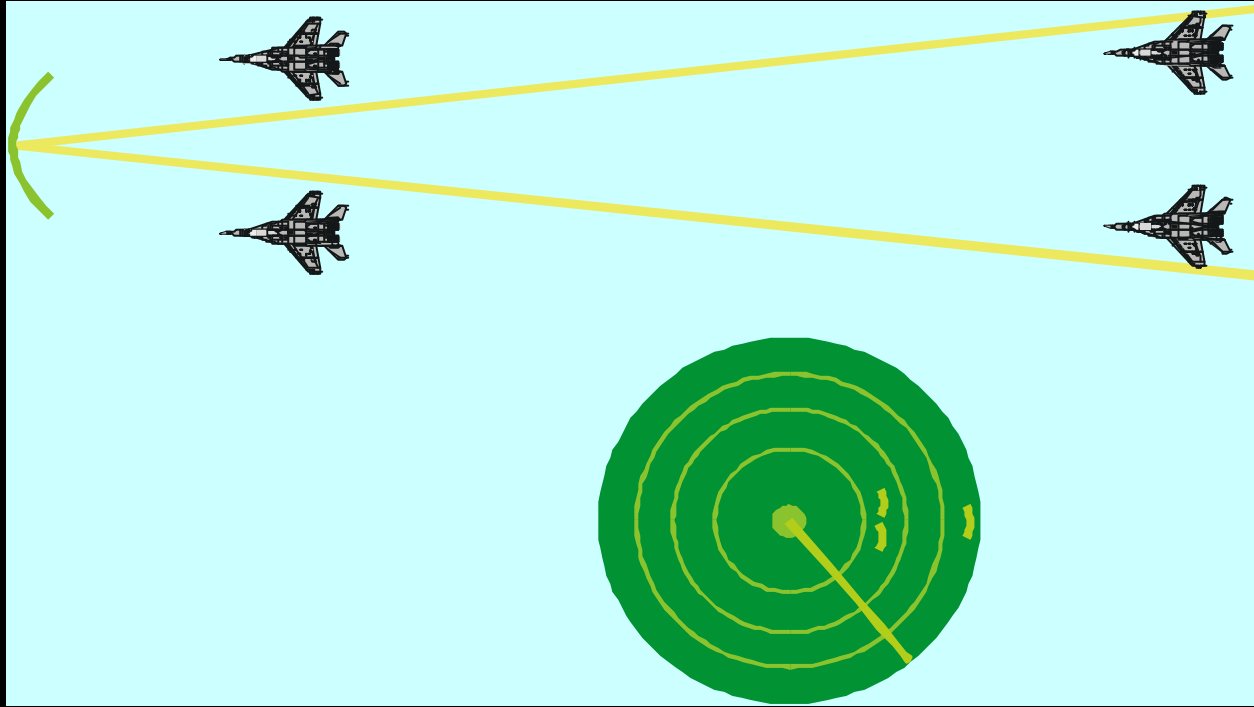


IYI
AZIMUTH
HASSASIYETİ



Azimuth Çözünürlüğü

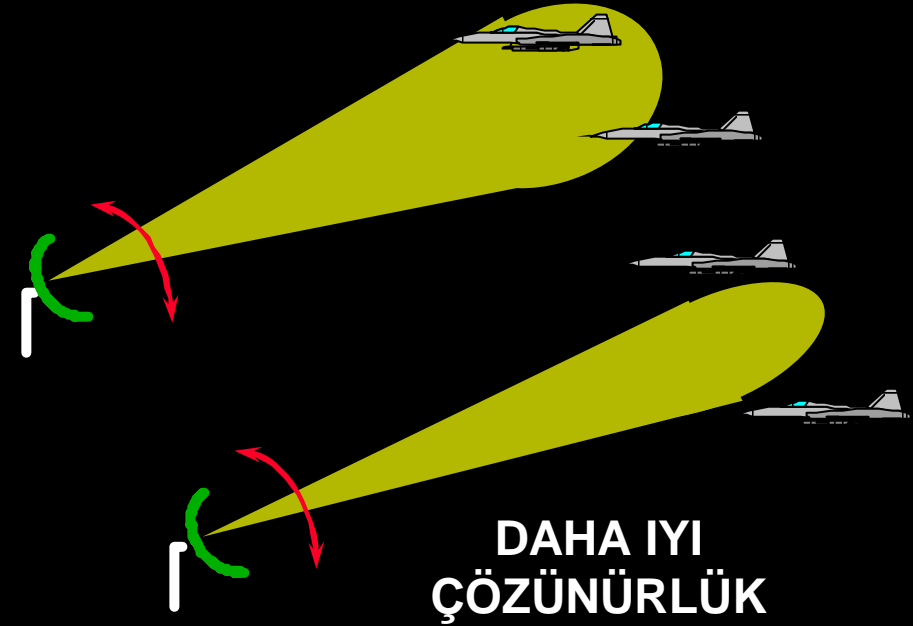
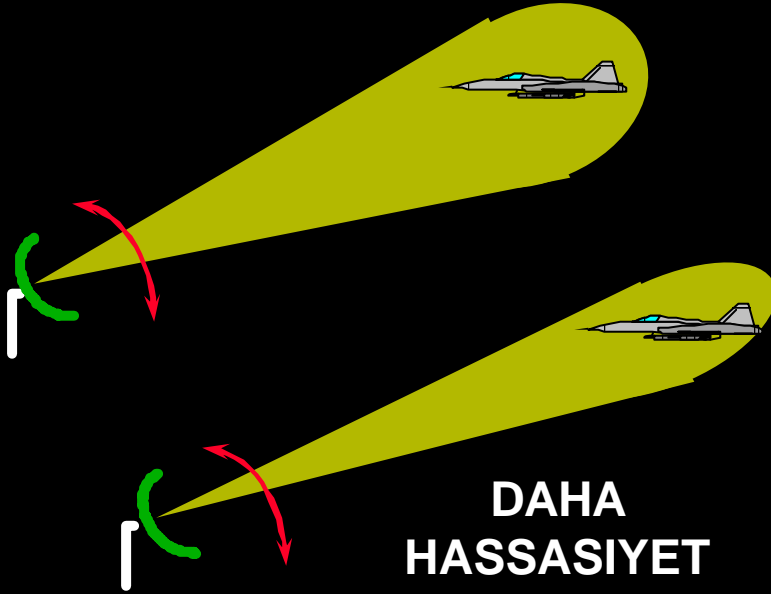
- Aynı mesafedeki iki hedefi ayırabilme yetnegi
- Yatay Beam Width ile ilgilidir.



Elevation

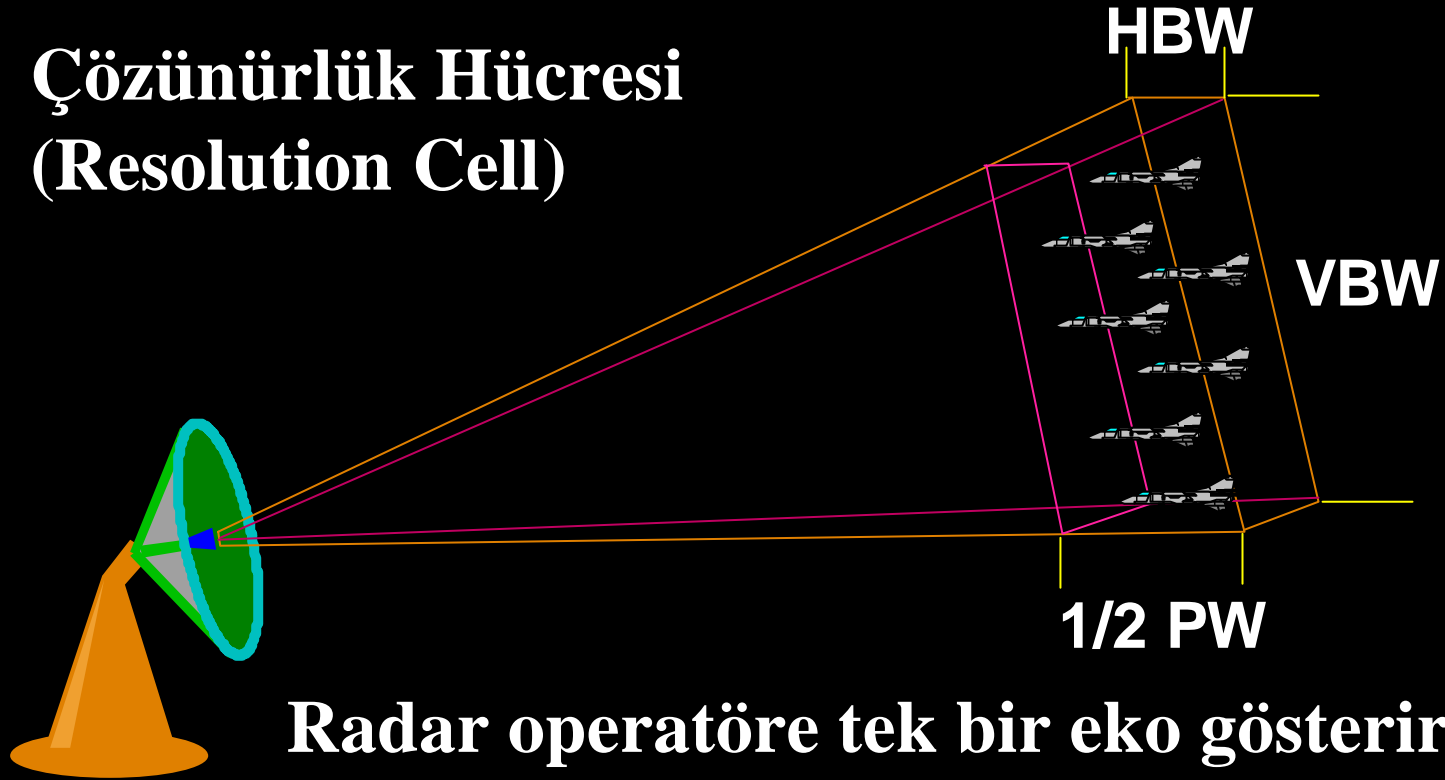
Hassasiyeti & Çözünürlüğü

- Aynen Azimuth'ta olduğu gibidir, ancak dikey sektördedir.



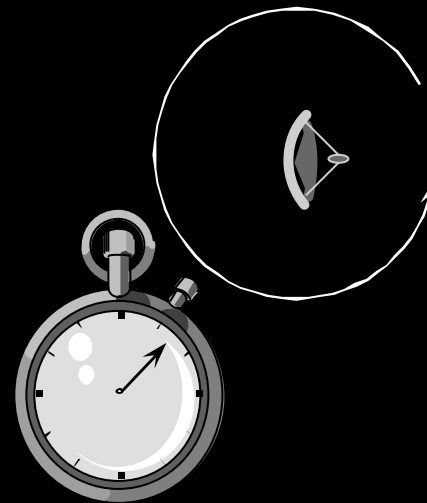
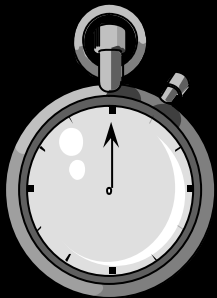
Azimuth/Elevation & Mesafe Çözünürlüğü Bizi Nasıl Etkiler.

Çözünürlük Hücresi
(Resolution Cell)



Tarama Tipi & Süresi

- **Tipi** – Beam'in uzayda yaptığı patern
 - Radar ikaz alicileri (RWR) tarafından algılanabilir
 - Basit ya da karmaşık olabilir
- **Süre** – Bir tarama paternini tamamlamak için gereken süre



Anten Tarama Tipleri

- **Basit Scan**
 - Radar anteninin yatay yada dikey olmak üzere birkaç eksenini taraması (daireysel yada sektörel)
- **Kompleks Scan**
 - Hem yatay hemde dikey düzlemlerde aynı anda hareket ederek radarın tarama yapabilmesi (conical, helical, spiral, ...)

ET TEKNİKLERİ

- . NOISE
(GÜRÜLTÜ)
- . DECEPTION
(ALDATMA)



ELEKTRONİK TAARUZ

- . Elektro Manyetik enerjinin düşmanın Elektronik Harekat kabiliyetini azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak amacıyla kullanılması,**
 - Düşmanın EM spektrumu kullanmasını engellemek amacıyla tedbirler almak**
 - Bu amaçla EM enerjiyi kullanan silahların tedarik edilmesi.**

ET = EK ??

- . **ET** : Bir radari karistirmek amaciyla ondan bilgi toplamak ve ona karsi EM enerjiyi kullanarak yayin yapmaktir.
- . **EK** : ET'ye maruz kalan radarin bununla bas etmek için çesitli teknikler uygulaması.

Ne zaman karistirma yapilir?

- Kendini Koruma Sistemleri Tarafından
 - Düşman radarlarını kendini korumak amacıyla karıştırır
 - Mirage 2000, F-16, Prowler,



- Stand Off Karistirma
 - Diğer unsurları korumak amacıyla düşman radarının karıştırılması
 - EC-130H, EA-6B

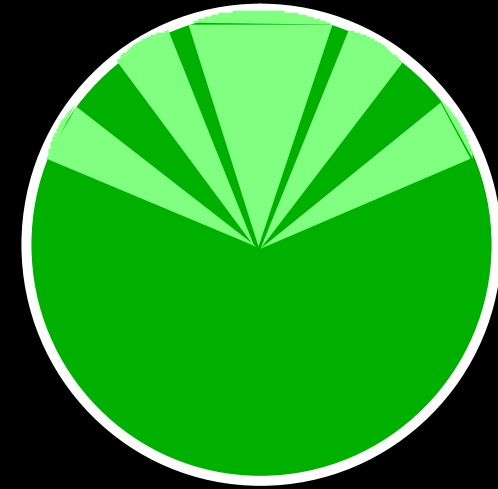
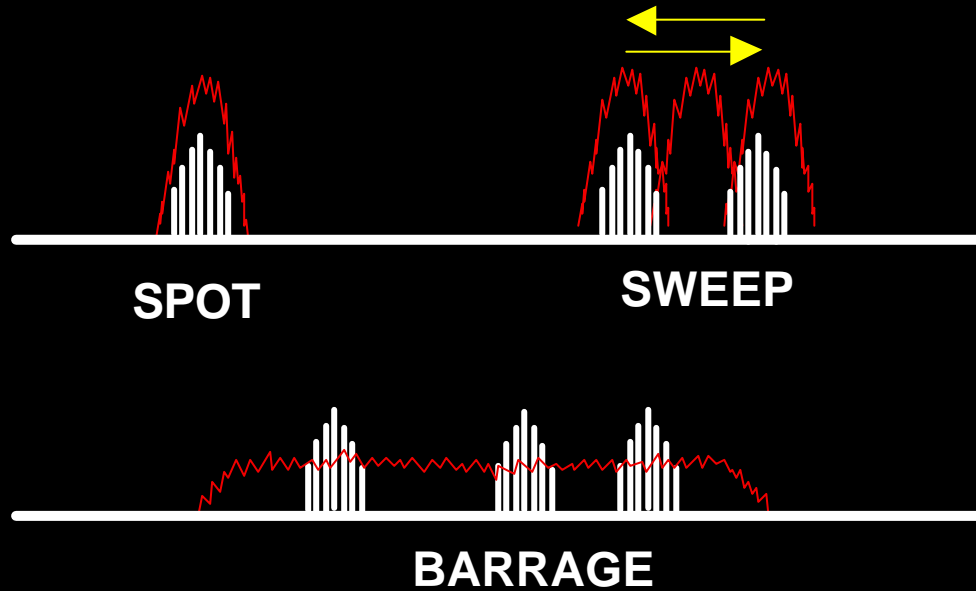


Noise Vs. Deception

- **Gürültü:**
 - “Module Edilmemis”
 - Asiri RF gücü kullanarak radarin mesafe ölçmesini engellemek
- **Aldatma Karistirmasi**
 - Düsman radarina yanlis bilgi göndermek
 - Eger dogru yapilrsa, düsman radari tarafından fark edilmeyebilir.

GÜRÜLTÜ KARISTIRMA TEKNIKLERİ

- Jammer, dűsman radar frekansini kapsayacak sekilde, sűrekli olarak ve yeterince echo'yu bastiracak kadar gűclű olmalidir.



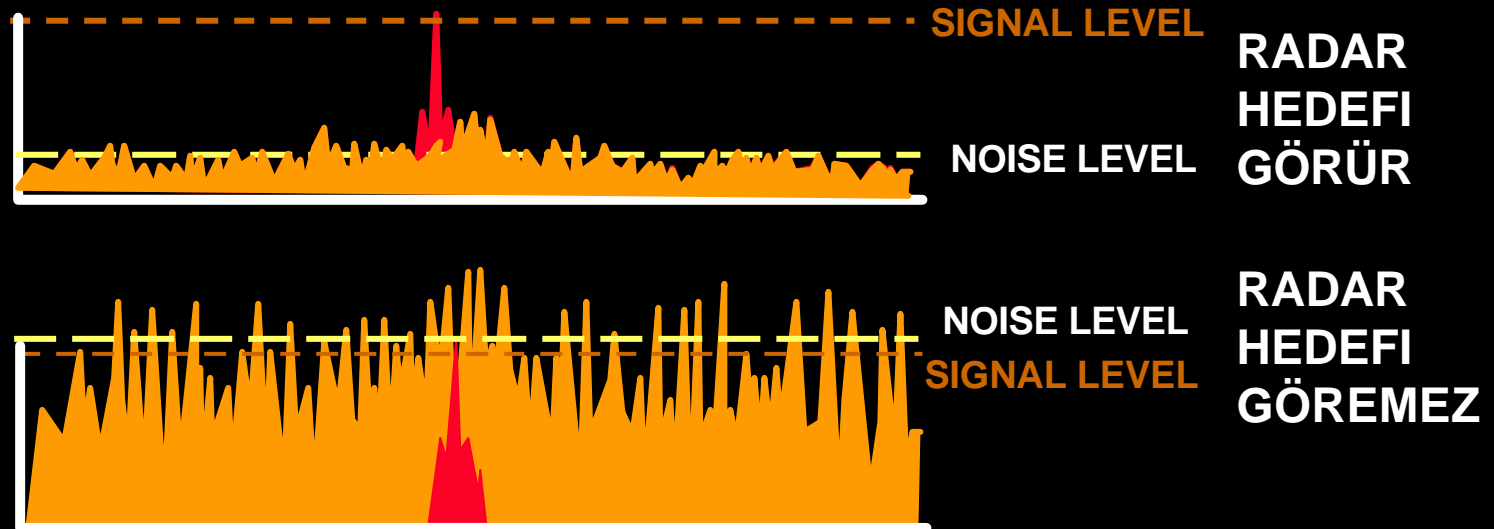
**NOISE JAMMING
EFFECTS**

GÜRÜLTÜ KARISTIRMASI

- . **Düşman tarafından kullanılan sistemlerin EM enerjinin yayınlanması, yansıtılması şeklinde köreltilmesi hedeflenir**
- . **Gelistirilen ilk tekniklerden biridir**
- . **Daha çok eski sistemlere karsi etkilidir**
- . **Yüksek güce ihtiyaç vardır**
- . **Düşman radarinin MESAFE ölçümünü hedefler**

GÜCÜN BELIRLENMESİ

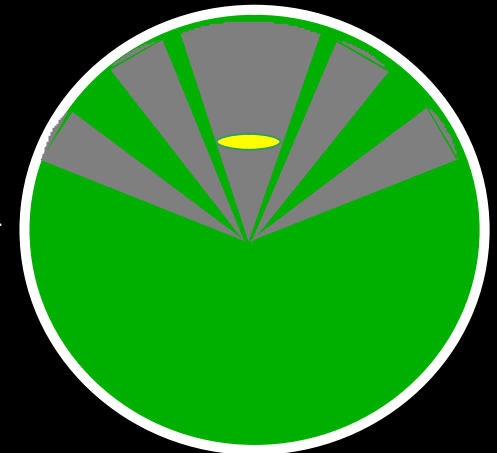
- **Signal to noise oranı (S/N)**
 - Düşman Radar'ında oluşturdugumuz sinyalin (ECHO) jammer tarafından üretilen Noise (gürültü) a oranı
 - ECHO'nun gücü Noise'dan fazla olmazsa ECHO düşman radari tarafından görülemeyebilir
 - Noise karistirmasi s/n oranini azaltmayi hedefler



Burn-Through Mesafesi

- $S/N = 1$ olduğu mesafe
- SAM radarları jammer sistemlerine göre çok daha yüksek RF gücüne sahiptirler
- Radar sinyali hedefe çarpıp geri dönmek zorunda olduğundan jammer sinyalinden 2 kat fazla mesafe kateder (jammer fiziksel olarak avantajlı)
- Mesafe azaldıkça bu avantaj da azalır ve radar hedefi yakalayabilir

Burnthrough Mesafesinin
İçinde bir hedef



Radar Burn Through

- Sinyal Güç Denklemi:

$$S = \frac{P_T G_T S A_R}{16 p^2 R^4}$$

S = Power of Radar Echo (Watts)

P_T = Peak Power Transmitted (Watts)

G_T = Antenna Gain

S = Radar Cross Section (Meters²)

A_R = Antenna Capture Area (Meters²)

R = Range to Target (Meters)

* $16p^2R^4$ comes from spherical spreading of energy in both directions

Radar Burn Through

- Noise Karistirma Denklemi:

$$JN = \frac{P_J G_J A_R}{4 \pi R^2} \times \frac{B_R}{B_J}$$

JN = Jamming Noise

P_J = Power of Jammer (Watts)

G_J = Gain of Jamming Antenna

A_R = Receiver Antenna Capture Area (M²)

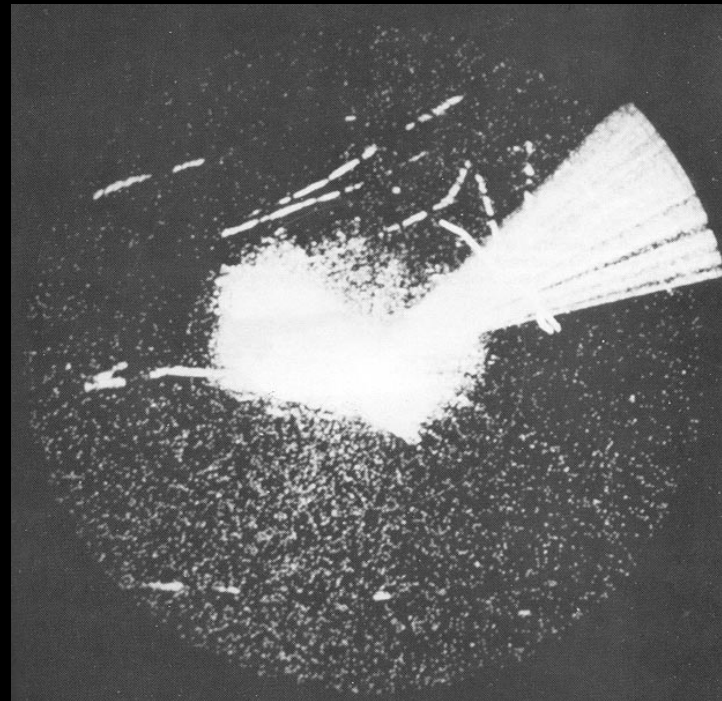
R = Range From Aircraft to Radar (Meters)

B_R = Bandwidth of the Radar Receiver (MHz)

B_J = Bandwidth of the Jamming Signal (MHz)

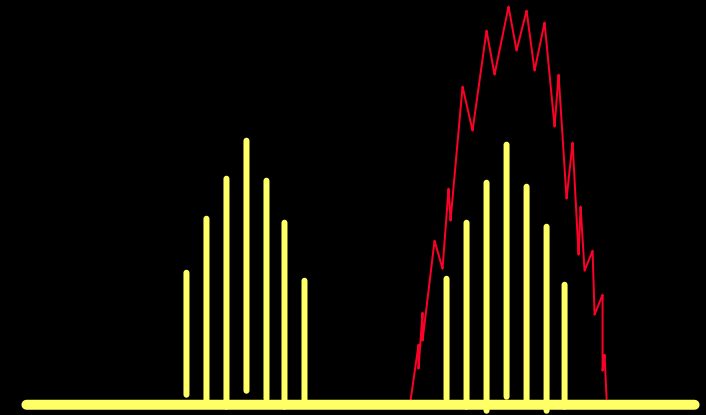
NOISE JAMMING

- . SPOT NOISE
- . SWEEP SPOT NOISE
- . BARRAGE NOISE



SPOT JAMMING

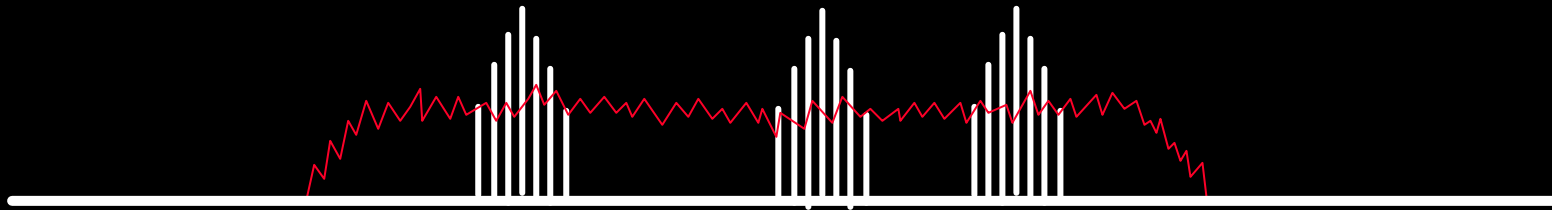
- Belirlenen bir frekans bölgesi/kanalının karıştırılması
- Dar bant genişliğinde (BW) çalışır
- *Avantajları*
 - Tüm güç bir sinyalin üzerindedir; 100% dwell time
- *Dezavantajları*
 - Aynı anda sadece bir sinyal karıştırılabilir
 - Frekans atlayan radarlarda başarılı olamayabilir



SPOT

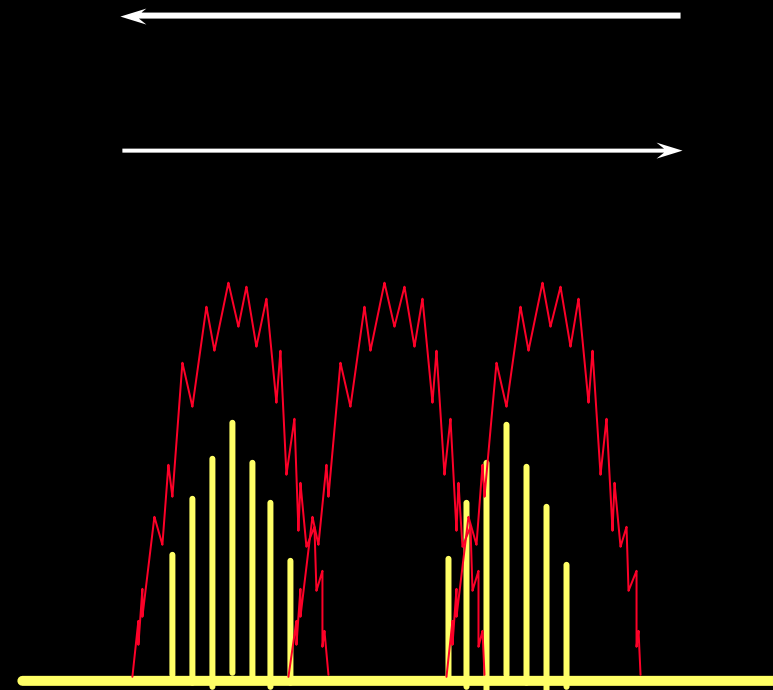
BARRAGE NOISE

- Birkaç frekansin/kanalin aynı anda karıştırılması
- **AVANTAJLARI**
 - AYNI ANDA BİRÇOK FREKANS KAPLANIR
 - RF-AGILE RADARLAR
 - 100% DWELL TIME
- **DEZAVANTAJLARI**
 - GÜÇ DAĞILIMI DÜŞÜKTÜR



SWEEP SPOT NOISE

- Dar bantli bir Noise sinyalinı genis bir RF bandında süpürmek
- *Avantajlari* -- birkaç sinyal sirayla kapsanabilir
- *Dezavantajlari* -- kısa dwell time



Hedef Takip Radarlari



Takip Radarlarına Karşı Aldatma Teknikleri

- . Bu teknikler takip radarlarının kilidinin kirdirmayı hedefler
- . Üç ana grupta incelenebilir
 - **MESAFE** -- ZAMAN
 - **HIZ** -- FREKANS
 - **AÇI** -- AMPLITUDE

Takip Radarları Hangi Bilgilere İhtiyaç Duyar?

- **Açı**
 - Azimuth ve elevation bilgisinin kombinasyonu
 - **EN ÖNEMLİ BİLGİDİR!!!**
- **Mesafe**
 - Oldukça önemlidir, ancak gerekli olmayabilir
- **Hız**
 - Oldukça önemlidir, ancak gerekli olmayabilir

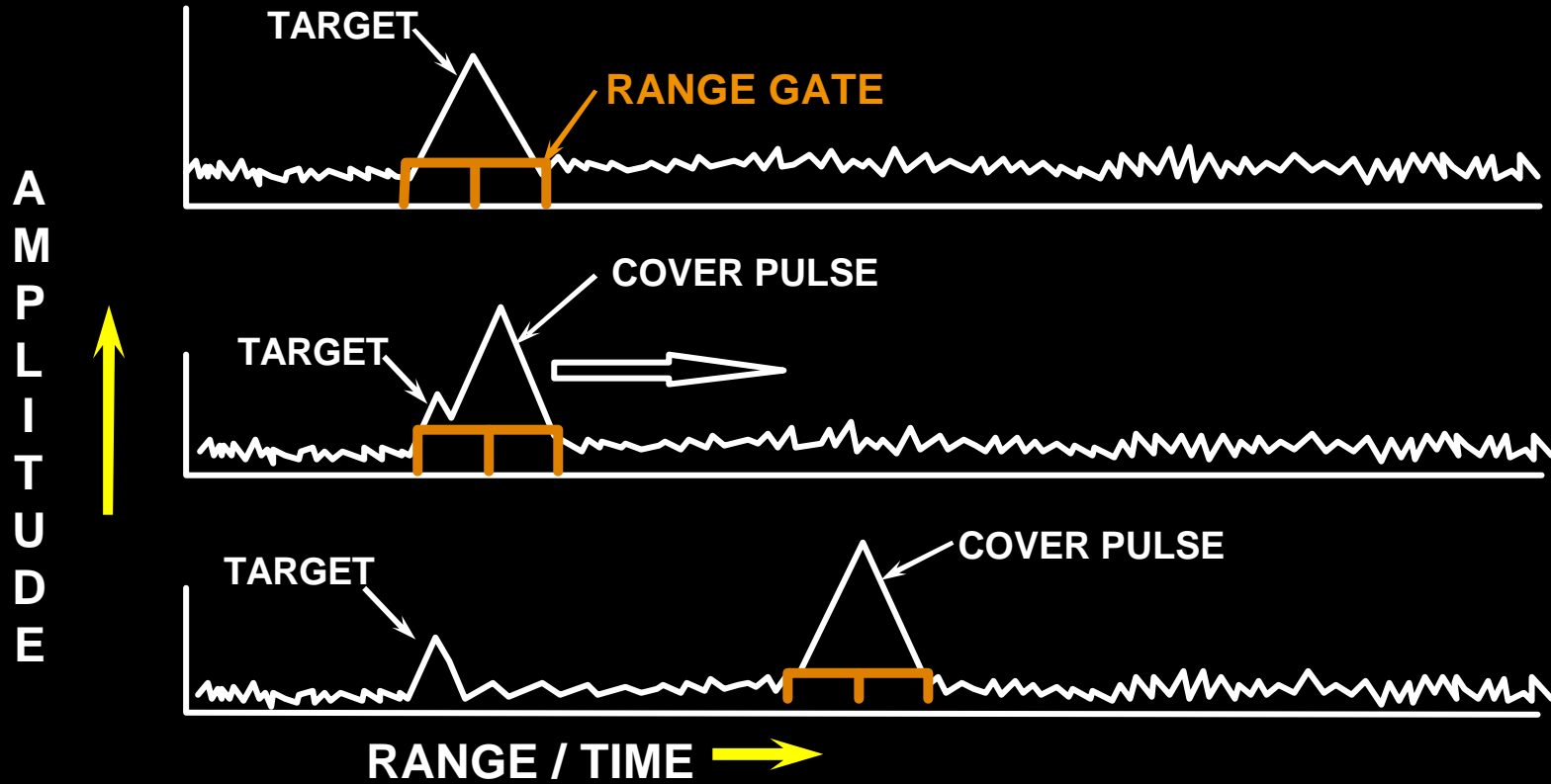
Takip Radarlarını Noise Tekniğiyle Karistirabilir miyiz?

- **Evet, arama radarlarında olduğu gibi noise tekniği kullanarak mesafe bilgisi köreltilebilir, ANCAK ...**
- **Hedef Takip Radarları “Track on Jam” kabiliyetine sahiptir ve bazı füzelerin “Home on Jam” yeteneği vardır.**
- **Eğer düz bir Noise tekniğiyle bu tip radarları karistirirseniz sonunda vurulursunuz.**

O halde Hedef Takip Radarlari Nasil Karistirilmalidir?

- . Aldatma Teknikleri!!**
 - Mesafe Aldatmasi**
 - Hiz Aldatmasi**
 - Açi Aldatmasi**
- . Karistirma sistemleri bu tekniklerin birçok kombinasyonlarini kullanirlar**

MESAFE ALDATMASI, RANGE GATE PULL OFF (RGPO)



- İlk önce sinyal üzeri kaplanır daha sonra bir hareket denklemi yardımıyla kontrol edilen gecikmeli karıştırma sinyali yayınlanır.

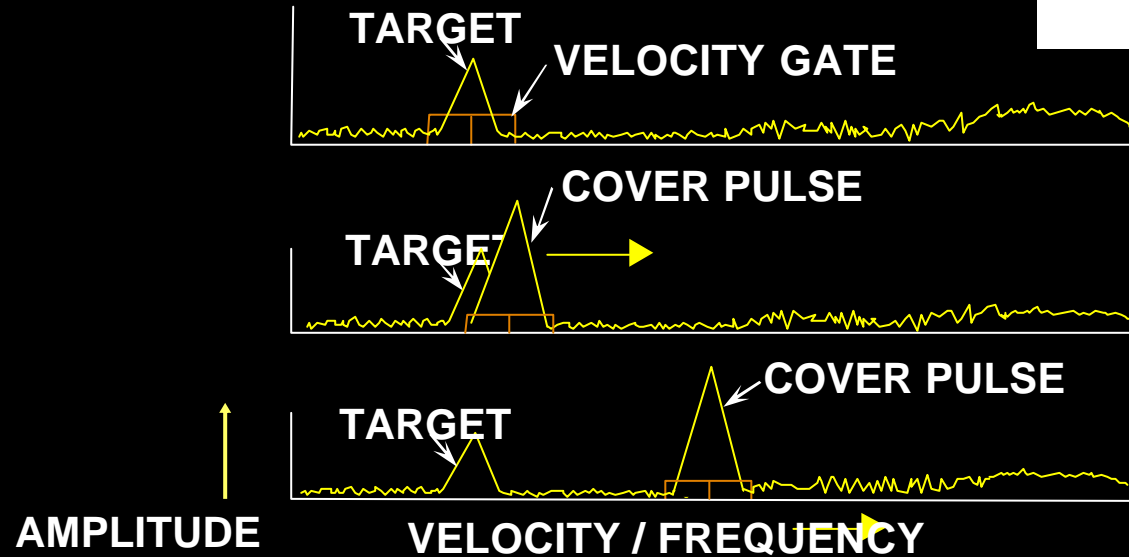
RGPO

- . Birçok modern radarlar bu tip bir karistirmayi anlayabilir
- . Genelde bu teknik otomatik takip yapan bu radarlari manuel tracking moduna geçmeye zorlar (operatör), birkaç saniye süre kazandırır
- . *Leading Edge Tracking* yapan sistemlere karsi *kisitli etkisi* vardır.

HIZ ALDATMASI (FREKANS)

- VELOCITY GATE PULL OFF (VGPO)
- **DOPPLER** sistemlerde kullanilir.

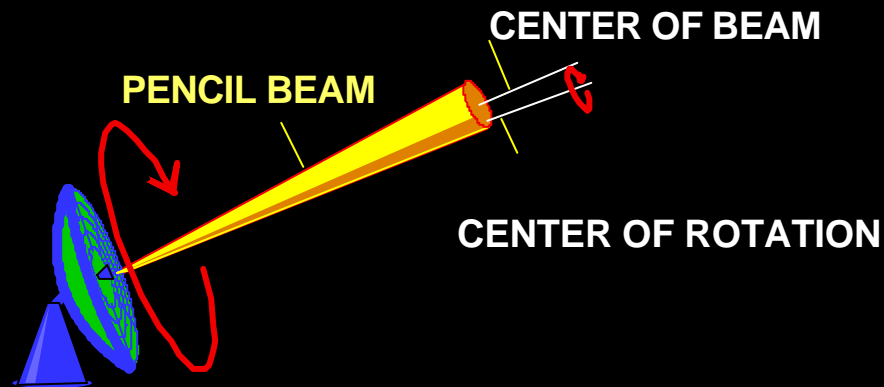
$$f_{dopler} = \frac{2 \times V_{radial}}{1}$$



Açı Teknikleri

Amplitude Modation (AM)

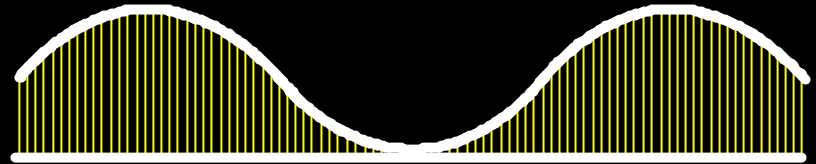
- Kare Dalga ya da Sinuzoidal Dalga tarafından Conical-Scan-Rate değeriyle module edilen sinyaller dizisi
- CONSCAN Radarlara karşı kullanılır



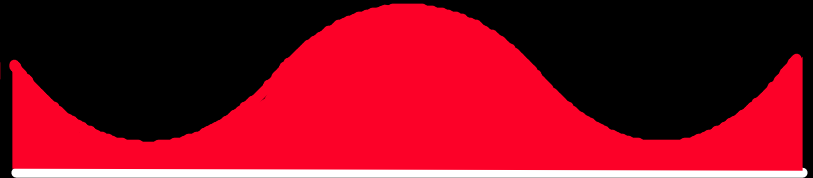
AM

- Tehditin Scan-Rate'i ile senkron bir şekilde jammer sinyalinin amplitude'ü degistirilir.

TARGET
RETURNS



JAMMING



RECEIVER
OUTPUT

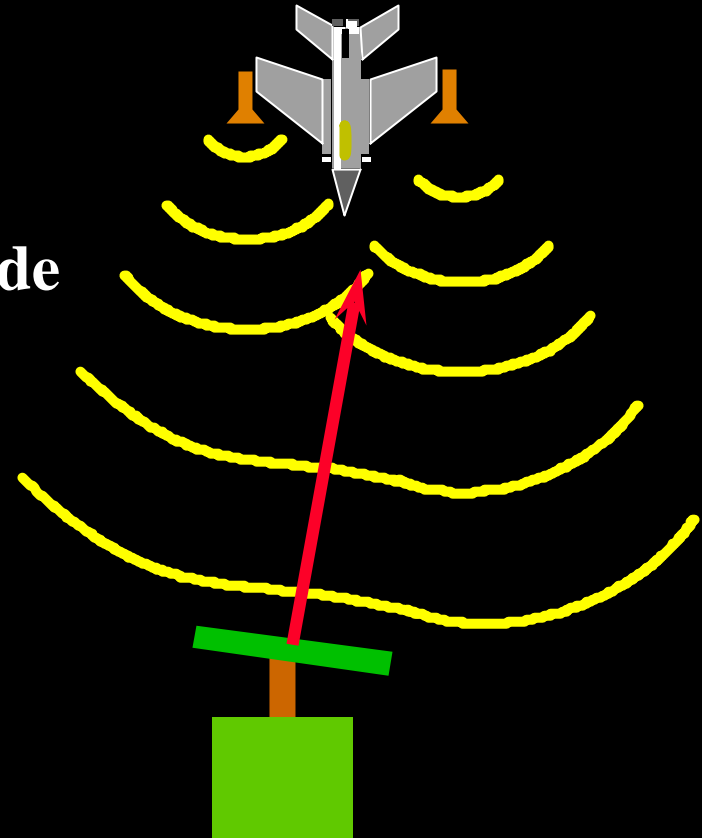


Açı Teknikleri

Monopulse

Cross Eye

- 2 jammer gerekir
 - » yaklaşık (approx 150') mesafede
 - » Aynı sinyali yayınlarlar
 - » 180° farklı faz
- Etki:
 - » Dalga yapısı bozulur
 - » Açılma hataları oluşturur



Temel Radar Prensipleri & Elektronik Karistirma Teknikleri

**Ütgm. Erdinç ETKİN
HUTEN
Bilgisayar Mühendisligi**

