

MTI – Moving Target Indicator



19/06/2004

Introdução



McDonnell Douglas F-4 Phantom II foi a primeira aeronave a ser equipada com um MTI

MTI – Moving Target Indicator

- É um dos mais importantes métodos para eliminar o clutter de superfície. O método baseia-se na comparação da variação de fase introduzida pelos alvos em movimento.
- Efeito DOPPLER
 - À distância R do radar a energia electromagnética vai sofrer um atraso que é dado por $\beta = 2\pi/\lambda * R$ radianos
 - Se o radar emite uma onda da forma:

$$v(t) = V_M \cos 2\pi f_o t$$

- A onda recebida devido à reflexão à distância R será:

$$v_R(t) = V_R \cos(2\pi f_o t - \phi)$$

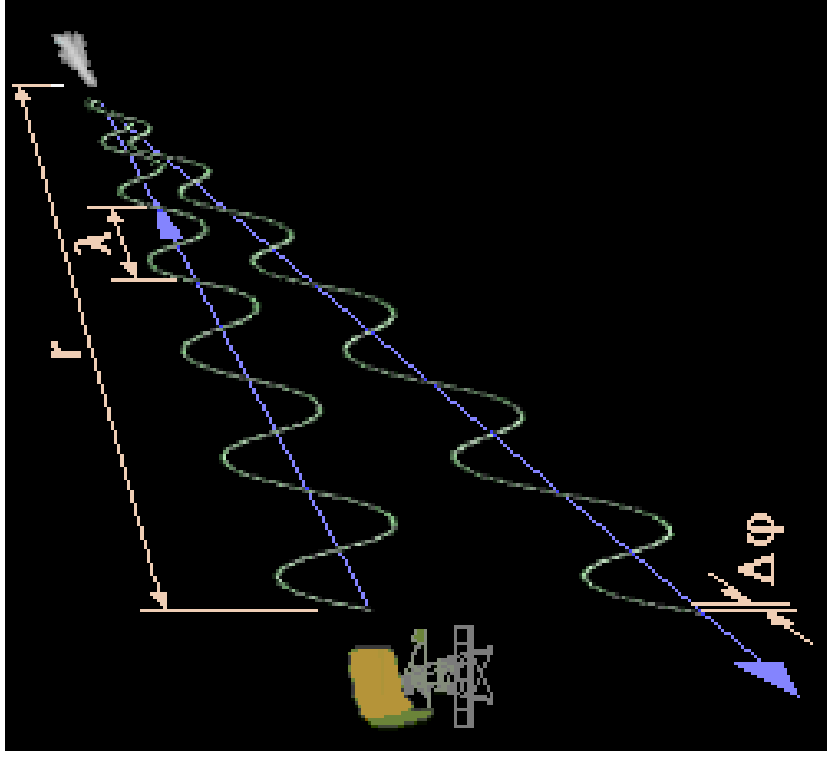


MTI

- No caso de um radar:

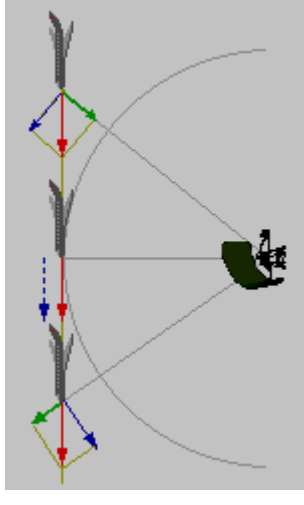
$$v_R(t) = V_R \cos(2\pi f_o t - \phi)$$

$$\phi = \beta \times L = \frac{2\pi}{\lambda} \times 2R$$



Efeito DOPPLER

- Quando o alvo se desloca, variando R , vai dar origem a uma variação de fase proporcional à velocidade de deslocamento. Esta variação de fase traduz-se numa variação de frequência.



- v_r representa a velocidade radial da aeronave em relação ao radar.
- f_d aumenta se o movimento for de aproximação e diminui se for no afastamento.
- A frequência doppler é dada por:

$$2\pi f_d = \omega_d = \frac{d\phi}{dt} = \frac{4\pi dR}{\lambda dt} = \frac{4\pi v_r}{\lambda}$$

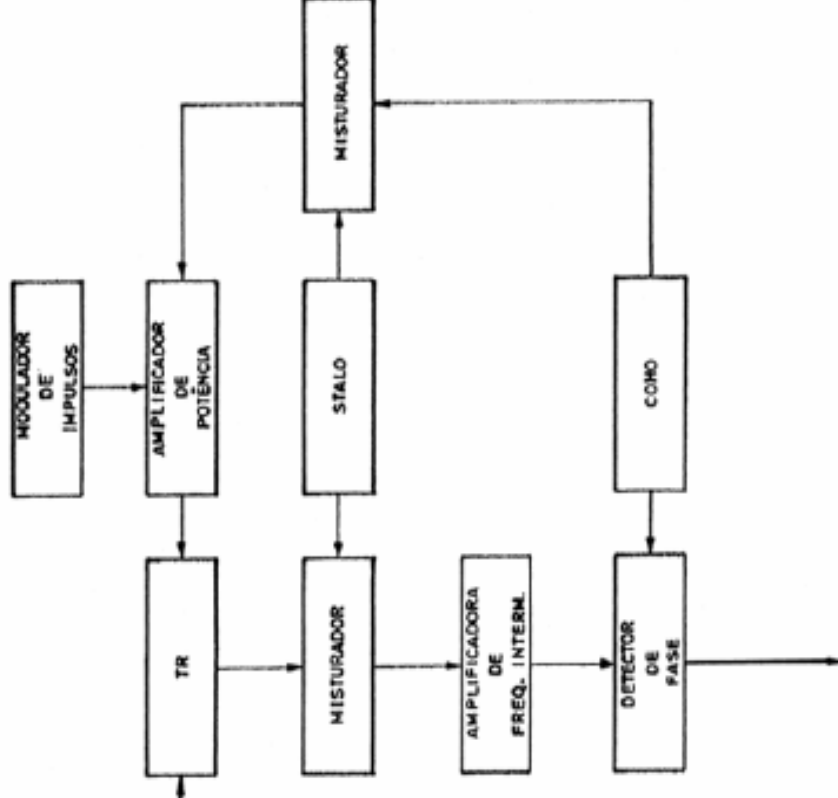
- Proporcional à velocidade radial da aeronave.
- Se o alvo tiver uma movimentação tangencial ao radar então a velocidade radial é nula – não há efeito doppler

$$f_d = \frac{2v_r}{\lambda}$$

MTI - coerente

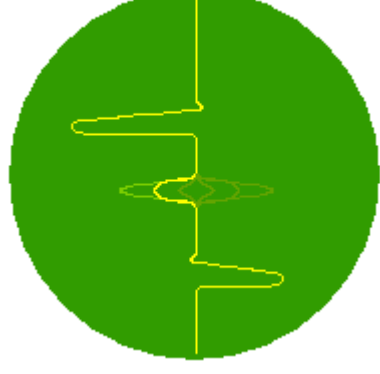
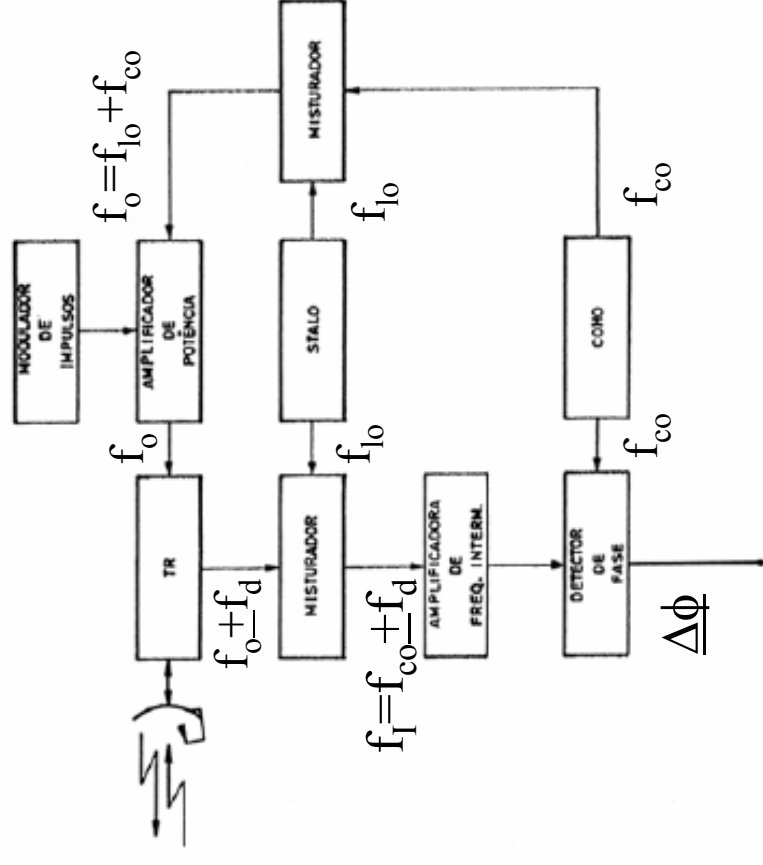
Receptor coerente

- Método de comparação de fase utilizando um oscilador local;
- f_o corresponde à frequência de emissão
- Resulta da mistura/soma da frequência f_{lo} e f_{co} geradas nos osciladores de elevada precisão
 - STALO – Stabilized Local Oscillator oscila numa frequência, f_{lo} , próxima da emissão
 - COHO – COHerente Oscillator – na maioria dos radares de defesa aérea é aproximadamente $f_{co} = 30$ MHz



MTI coerente

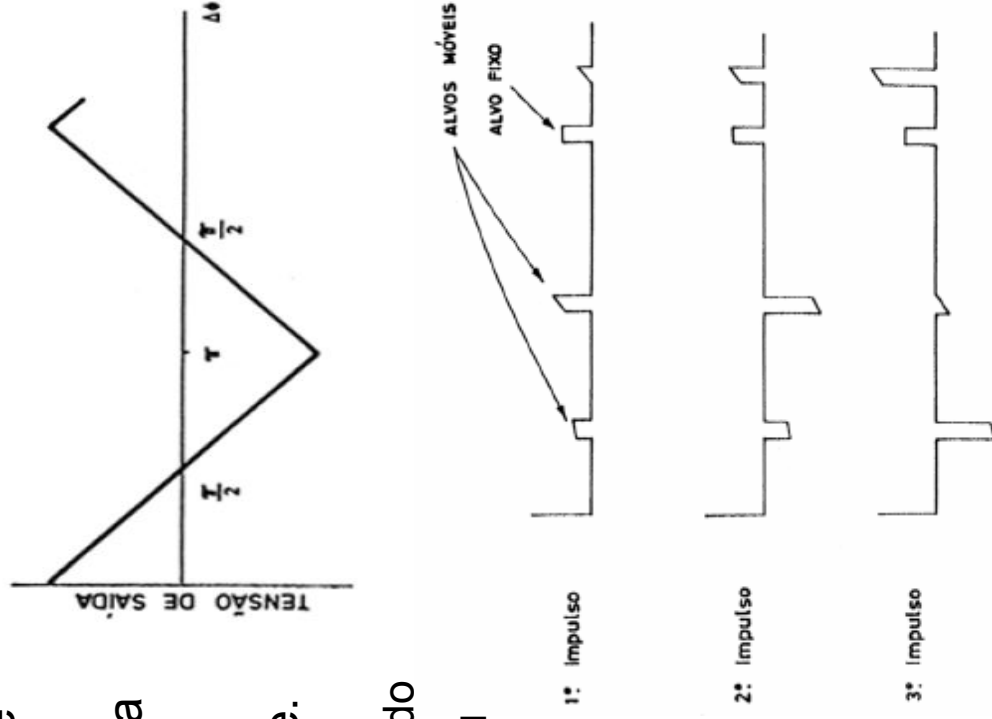
- A frequência de emissão é $f_o = f_{i0} + f_{co}$
- A frequência de recepção é $f_o \pm f_d = f_{i0} + f_{co} \pm f_d$
 - f_d corresponde à alteração produzida pelo efeito doppler
- Quando a frequência recebida é misturada com f_{i0} resulta uma frequência intermédia $f_1 = f_{co} \pm f_d$
 - A frequência f_1 vai ser comparada com o COHO para avaliar a existência ou não de desvios de doppler



Saída de um detector de fase

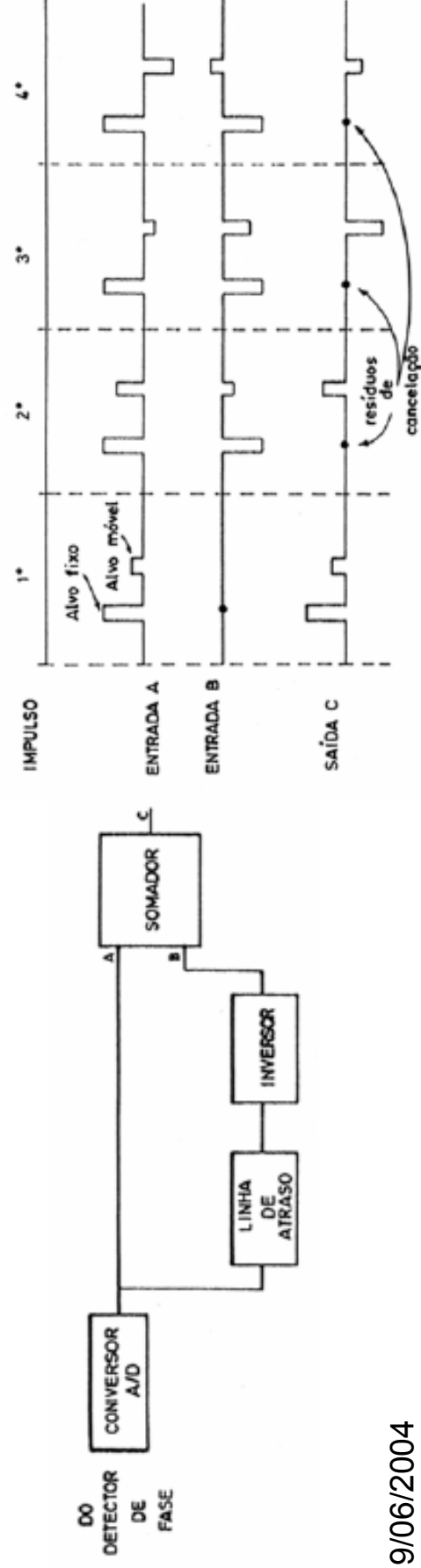
Detector de fase

- Detector de fase é um dispositivo que recebe dois sinais e dá uma resposta em amplitude que depende da diferença de fase entre eles
- Se o sinal recebido não vier afectado da componente doppler, então terá uma frequência igual à do COHO → a diferença de fase mantém-se constante.
 - Para dois impulsos sucessivos não há alteração da amplitude do sinal detectado
- A existência de alvos móveis introduz u alteração de fase, entre dois sinais sucessivos
 - Vão surgir diferentes amplitudes detectadas para os dois sinais cuja diferença de amplitude é proporcional à frequência doppler

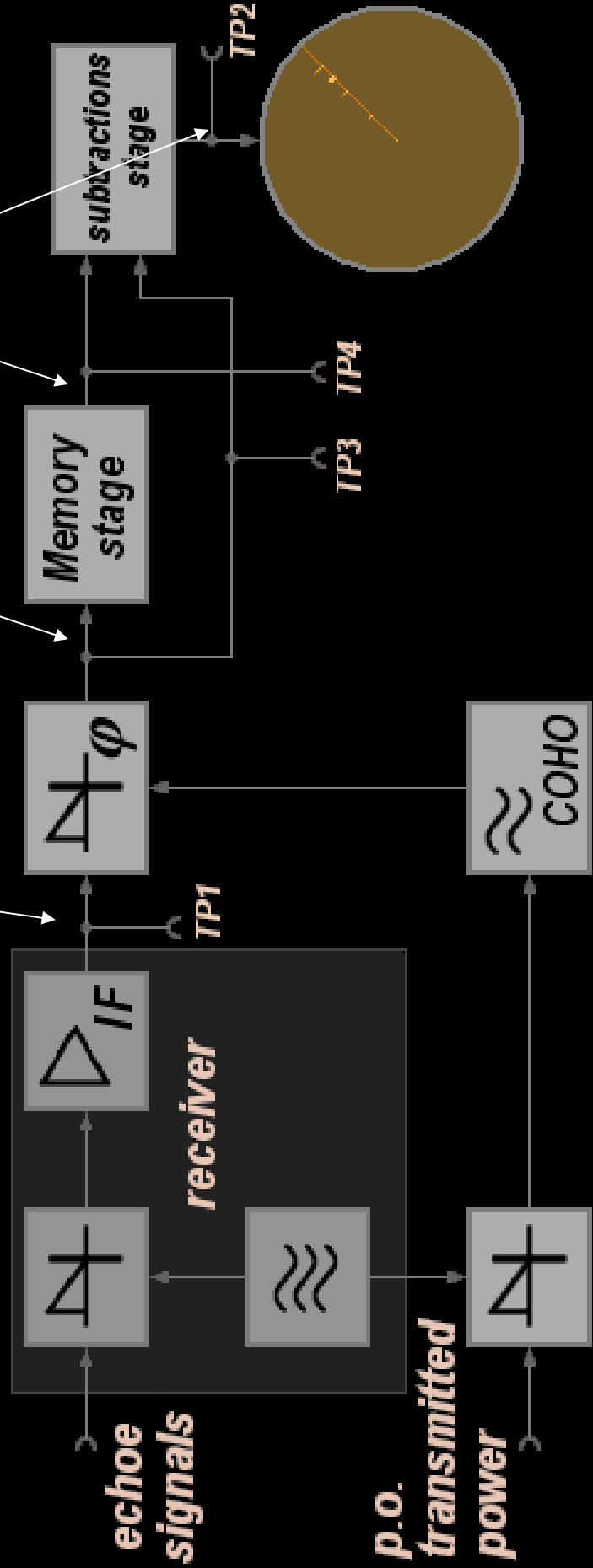
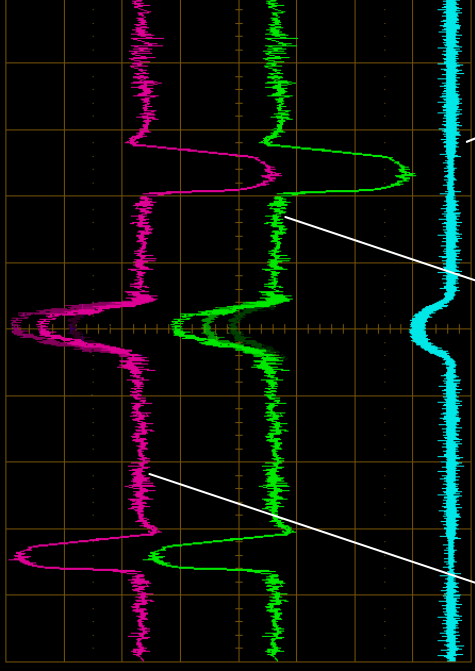
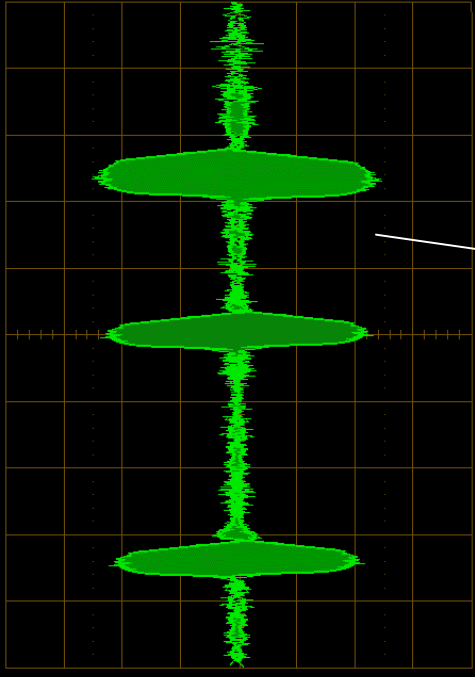


Cancelador

- Para eliminar os alvos fixos é usado um circuito em que as respostas de dois impulsos sucessivos são subtraídos em oposição de fase
 - Na entrada A do somador estará o impulso do instante t
 - Na entrada B estará o impulso do instante $t-T$ invertido
 - O resultado final será a subtração dos dois sinais
 - Note-se que no estado inicial não é possível cancelar os impulsos
 - Esta situação ultrapassa-se colocando um integrador



19/06/2004



No caso de se utilizar outro misturador em vez do detector de fase

- Sinal referente à onda emitida (à frequência intermédia)

$$V_{ref} = K_1 sen(2\pi f_{co} t)$$

- Sinal referente ao eco à frequência intermédia

$$V_{eco} = K_2 sen(2\pi(f_{co} \pm f_d)t - \phi_0)$$

- Sinal após nova mistura

$$V = K_3 sen(2\pi f_d t - \phi_0)$$

Equações à saída do cancelador

- No instante t o impulso vindo de um alvo:

$$V_1 = Ksen(2\pi f_d t - \phi_o)$$

- O impulso no instante $t+T$, para o mesmo alvo será:

$$V_2 = Ksen[2\pi f_d (t + T) - \phi_o]$$

- À saída do cancelador teremos:

$$V_2 - V_1 = Ksen[2\pi f_d (t + T) - \phi_o] - Ksen(2\pi f_d t - \phi_o)$$

- Após tratamento virá:

$$V_2 - V_1 = Ksen(2\pi f_d T) \cos \left[2\pi f_d \left(t + \frac{T}{2} \right) - \phi_o \right]$$

- A variação de sinal representa uma sinusóide no tempo com frequência f_d e amplitude $sen(2\pi f_d T)$

Velocidade de Fases Cegas

- Veja-se o caso particular de um alvo que se desloca a uma velocidade tal que a sua fase varia $2\pi n$ radianos entre cada impulso.
 - Apesar do alvo não possuir velocidade radial nula ele será cancelado.
 - Para os alvos com variações de fase próximas de $2\pi n$ irá ser visto pelo radar com baixa amplitude

Em termos espaciais corresponde à aeronave percorrer $n\lambda/2$ num PRT

$$v_n = \frac{n\lambda}{2T} = \frac{n\lambda f_p}{2} \quad \text{m/s}$$

v_n – Blind speed (m/s),

λ - Transmitter wavelength (m),

$n = 1, 2, 3, \dots$

f_p – Pulse repetition frequency (PRF) (Hz).

Velocidade de fases Cegas

$$K_{sen}(2\pi f_d T) = 0$$

- Da equação verifica-se que para $\pi f_d T = n\pi \rightarrow f_d = n/T$ temos uma resposta nula no cancelador.

$$f_d = \frac{2v_r}{\lambda} \Rightarrow v_{blind} = \frac{\lambda n}{2T}$$

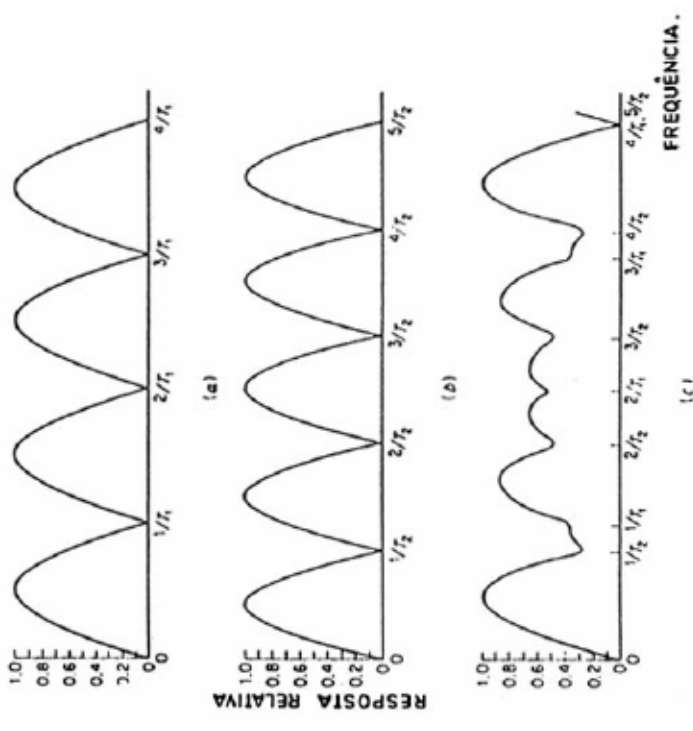
- $V_2 - V_1$ também pode ser nula para:

$$\cos \left[2\pi f_d \left(t + \frac{T}{2} \right) - \phi_o \right] = 0$$

Estes casos designam-se
por Fase cega

Eliminação das velocidades cegas – PRF- Stagger

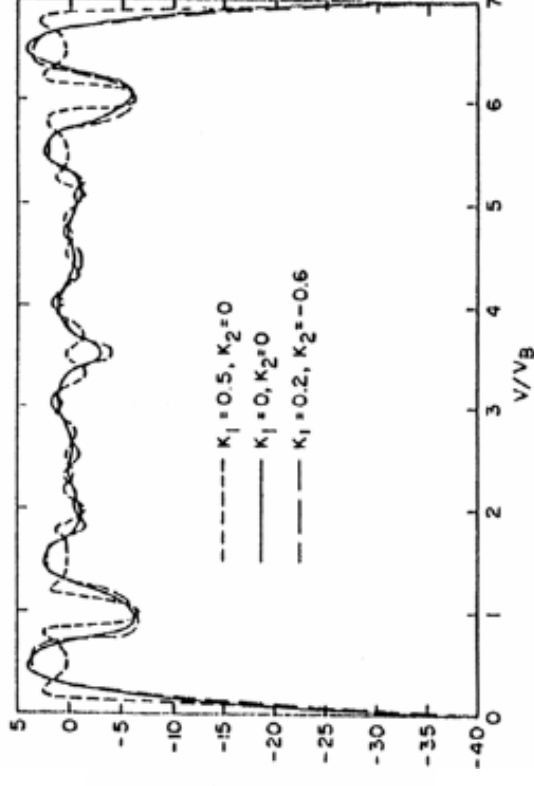
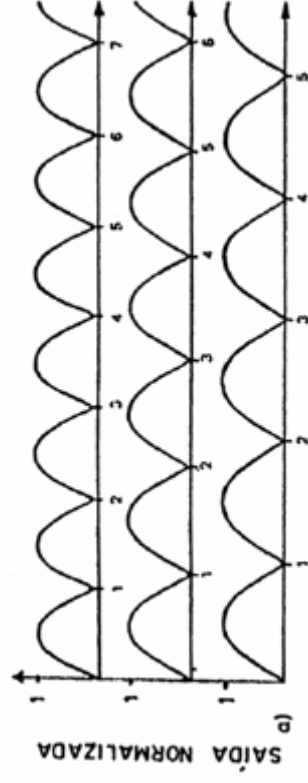
- As velocidades cegas são função de λ (f) e de T
- A frequência de operação normalmente não é alterada (infiere no desempenho das antenas,...)
- T é uma característica do radar (PRT) e pode ser alterada de impulso para impulso
- Usando alternadamente T_1 e T_2 , tal que $5T_1=4T_2$, a 1ª velocidade cega ocorre em $5/T_2=4/T_1$



Resposta de um cancelador para a situação onde os dois períodos de emissão estão relacionados por $5T_1=4T_2$

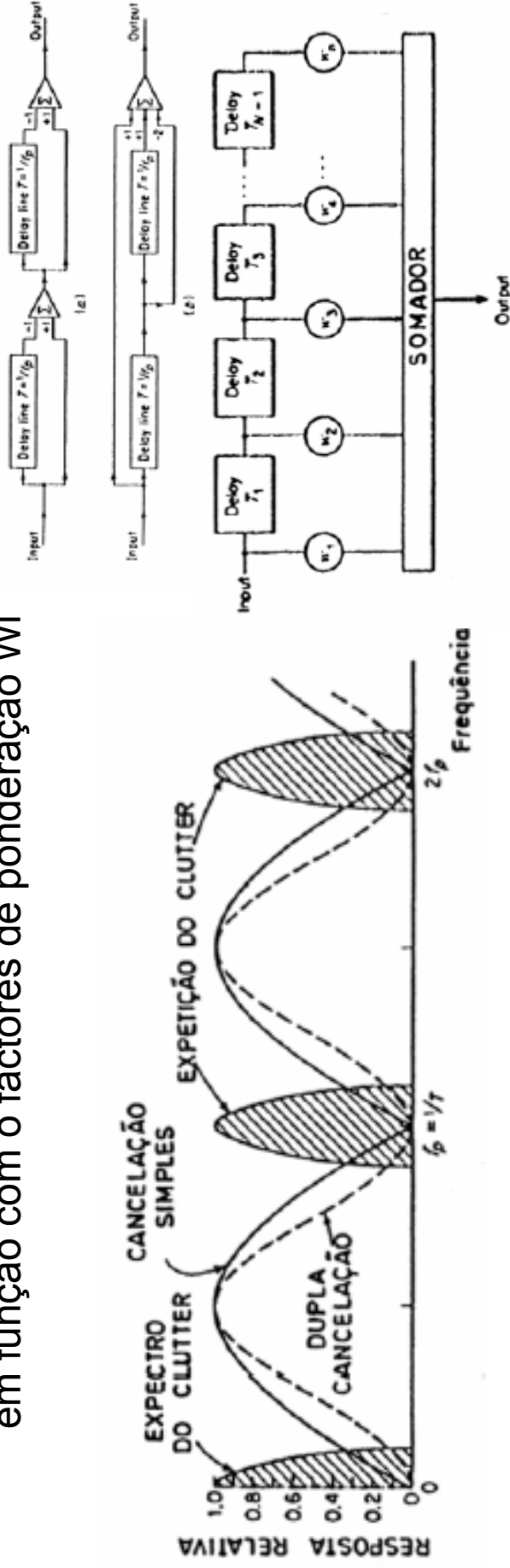
Eliminação da velocidade cega

- Um outro método é o de usar um cancelador do tipo 3PRF's que são somados com pesos diferentes



Canceladores múltiplos

- O clutter ocupa uma faixa significativa da frequência
 - O clutter atmosférico (ventos, chuva, nuvens, ...) ocupa uma faixa que pode ir até aos 200km/h → clutter que não é cancelado
- O cancelador múltiplo pode melhorar a rejeição do clutter
 - O circuito rejeita mais clutter. No entanto, rejeita também sinal
- Os filtros transversais apresentam uma resposta variável em função com o factores de ponderação W_i




Fim

Velocidades Cegas

- Velocidade cega depende da frequência do emissor e do PRF e/ou PRT do radar:
 - $V_{\text{Blind}} \rightarrow$ velocidade cega
 - $\lambda \rightarrow$ comprimento de onda
 - $T_s \rightarrow$ período de repetição (PRT)
- Exemplo
 - Um radar opera na frequência 2.8 GHz e tem um PRT de 1.5 ms. Qual a velocidade cega do radar:
 - Aplicando os valores na equação resulta a velocidade cega de 257 km/h e todos os múltiplos inteiros desta velocidade..

$$V_{\text{Blind}} = \frac{\lambda}{2 T_s}$$


$$V_{\text{Blind}} = \frac{\lambda}{2 \cdot T_s} = \frac{c}{2 \cdot f \cdot T_s} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,8 \cdot 10^9 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}} = 71,43 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Comparação de frequências

- Freq. Doppler – pequena comparada (Hz) com a freq. do emissor (GHz, deste modo, a comparação de fase torna-se mais adequada.
- A frequência doppler é calculada tendo como base a frequência do emissor e a velocidade de deslocação radial. Para uma frequência de emissão de 2975 MHz e uma aeronave a deslocar-se à velocidade radial de 650 quilómetro por hora. Apicando a equação:
 - $\lambda = c / f$ calcula-se o comprimento de onda.
 - Temos a velocidade radial em metro por segundo. Assim, multiplicando por 1000 (metros) e dividindo por 3600 segundos (m/s) obtemos o valor de 3.6.
 - A frequência de doppler é de 3581 Hz. Pequena variação de frequência quando comparada com a velocidade radial/frequência de transmissão. I.e se a velocidade radial varia 10 km/h, então temos uma variação de 110 Hz para a frequência doppler.

$$f_d = \frac{2 \cdot v}{\lambda}$$

$$f_d = \frac{2 \cdot v \cdot f}{c}$$

$$f_d = \frac{2 \cdot v \cdot f}{3 \cdot 10^8}$$

$$f_d = \frac{2 \cdot v \cdot 2,975 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8}$$

$$f_d = \frac{2 \cdot 650 \cdot 2,975 \cdot 10}{3 \cdot 3,6}$$



Processamento de sinal

- A eliminação do alvo fixo ocorre por comparação de fase entre impulsos consecutivos. Se o alvo se move, a diferença de fase é diferente de zero e o alvo aparece no display;
- Após a detecção de fase o sinal é armazenado numa memória;
- De seguida executa-se uma subtração com o sinal correspondente ao impulso anterior;
- Se a fase se manter, a saída do subtrator é igual a zero;
- Se a fase se alterar, a saída do subtrator é diferente de zero e no display é apresentado o alvo.

