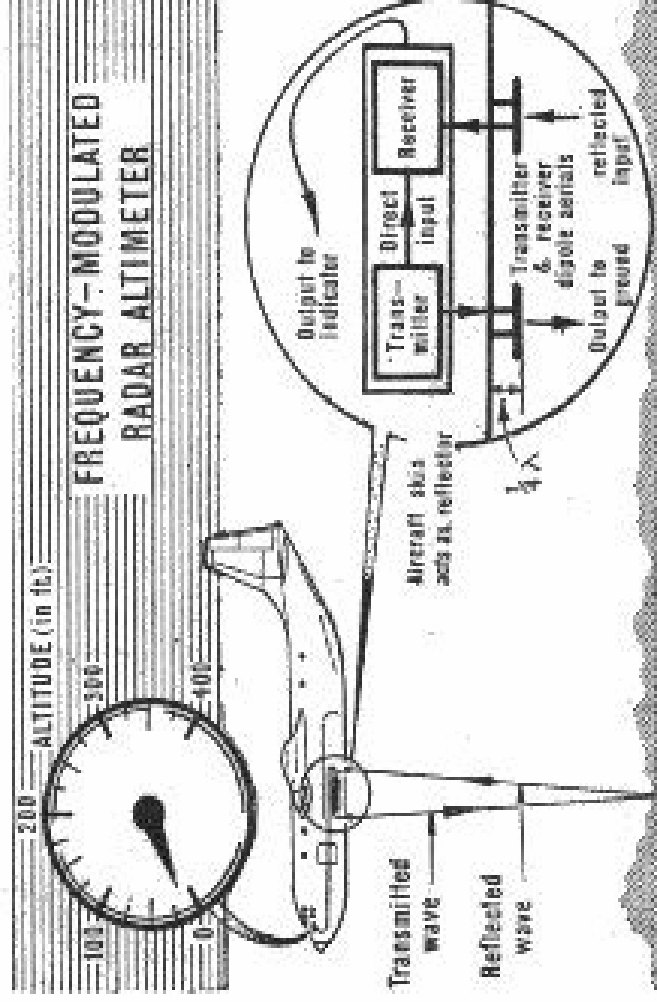


# Radar Altimetro

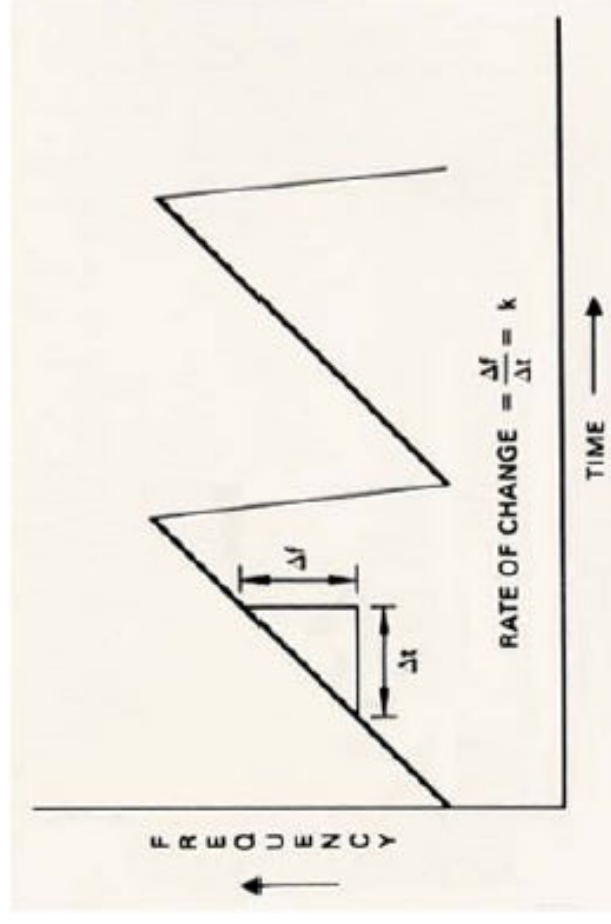
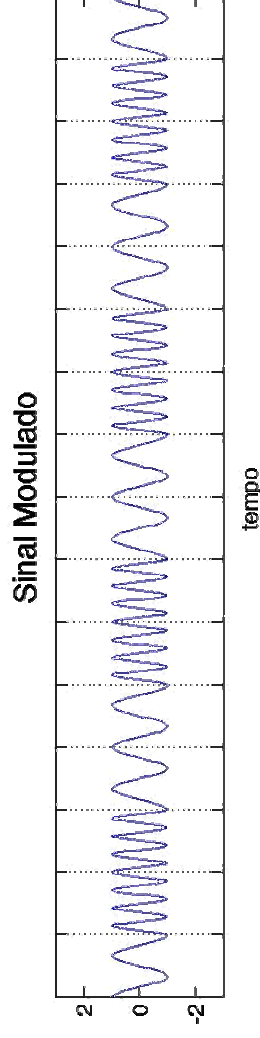


# Radar Altimétrico

- Usado para determinar a altitude a que a aeronave se encontra, relativamente ao solo.
- Para determinar a altitude é usada a emissão de um feixe radar tipo CW modulada em frequência (CW – FM).
- A portadora de + 4300 MHz é modulada em frequência por um sinal modulante (triangular ou sinusoidal) de 100Hz.
- No receptor é feita a mistura entre a frequência de emissão e recepção. A diferença é obtida no “Beat Frequency Count”

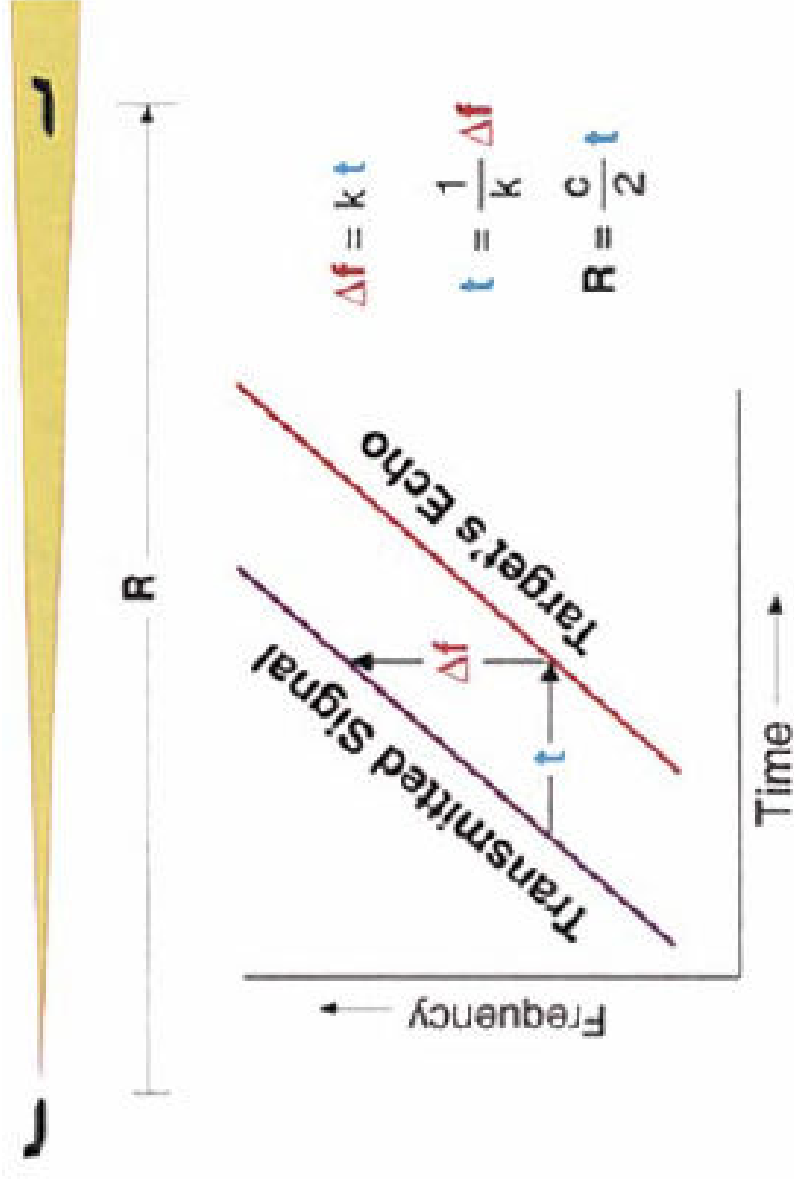
# Radar Altimétrico

- No radar CW-FM o sinal é transmitido de forma contínua, mas constantemente variando em frequência.
- A frequência varia entre os 4250 a 4350 MHz com uma taxa de variação de 100 vezes por segundo.
- A diferença entre a frequência do sinal transmitido e recebido (beat frequency) é proporcional à distância do solo à aeronave.
- Cada pé de altitude corresponde a 10 Hz de alteração da frequência → 20 Hz pelo facto de ser medido o eco

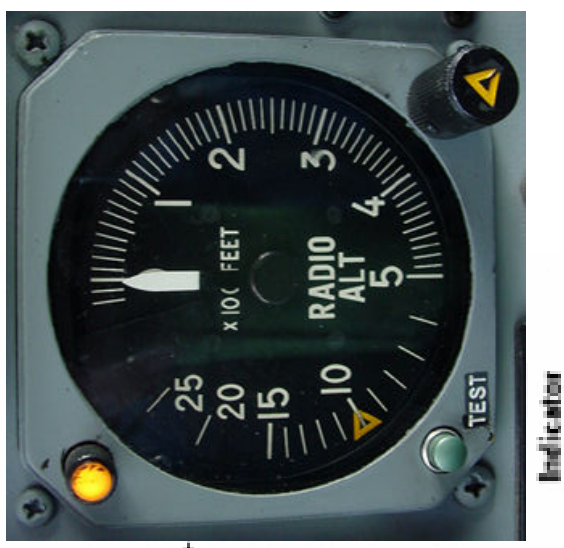


**i.e. 1.000 pés → Δ 20.000Hz**

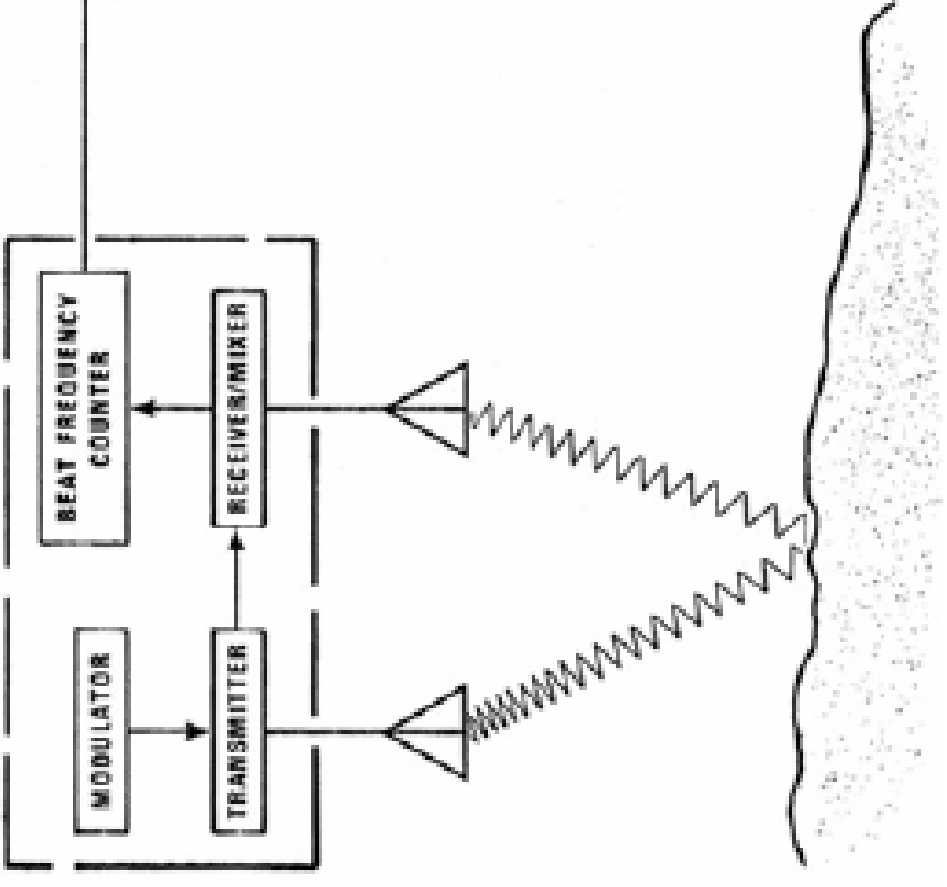
# Detecção de distâncias com radares CW



# Diagrama de Blocos

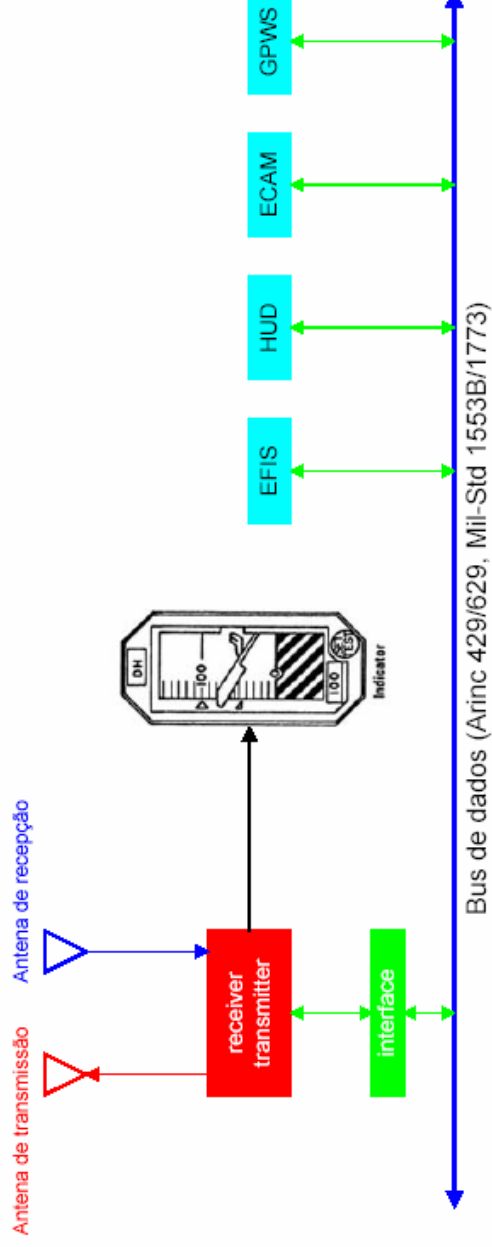


Low Range Radio Altimeter Receiver/Transmitter



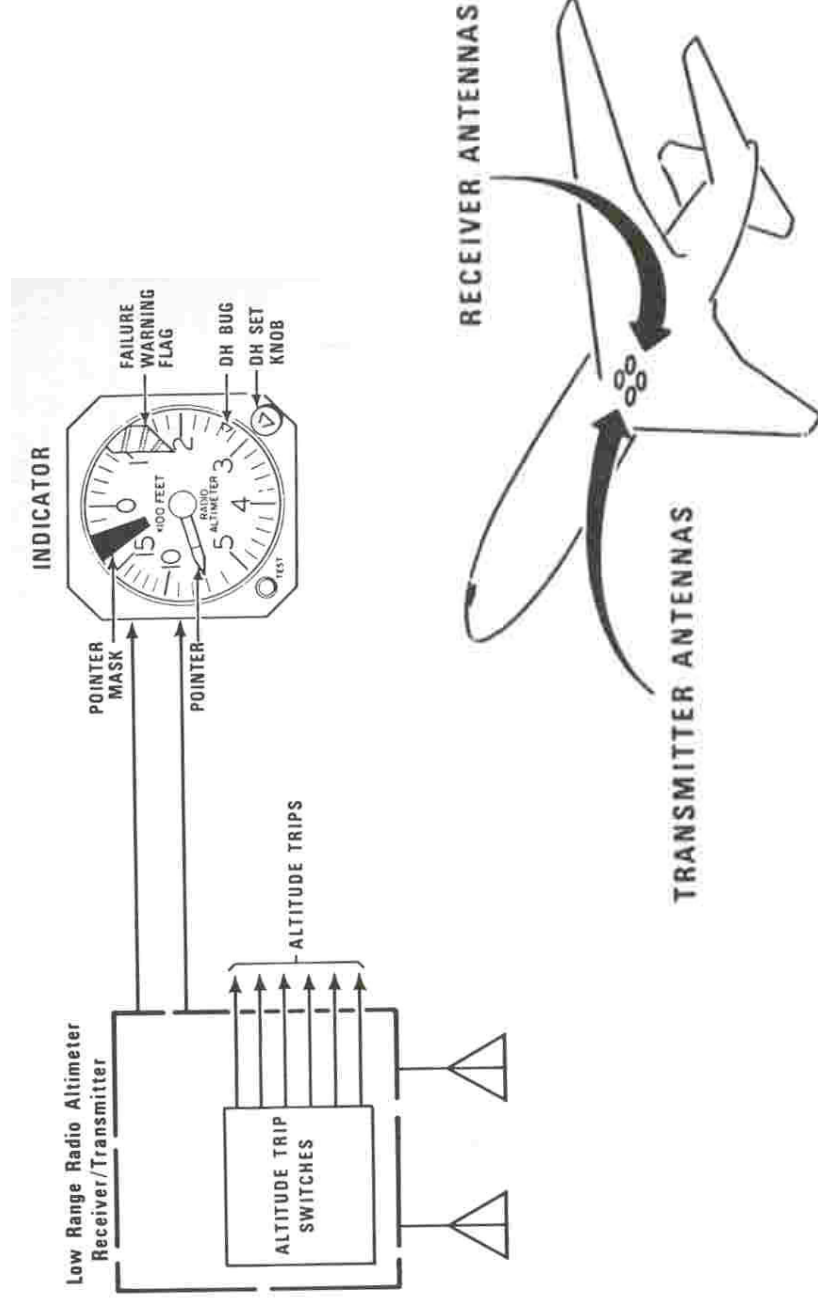
# Princípio de funcionamento

- A antena é desenhada de modo a manter-se na horizontal até um bank angle de 30° e um pitch de 20°.
- O radar altimétrico não opera a grandes altitudes.
  - Limite máximo de 2500 pés.
  - Usado em aproximações à pista
- Em cat II o radar alt. Informa quando a aeronave está a 100 pés acima da pista
- Um botão permite introduzir a altitude de aviso
- Existência de um self-teste



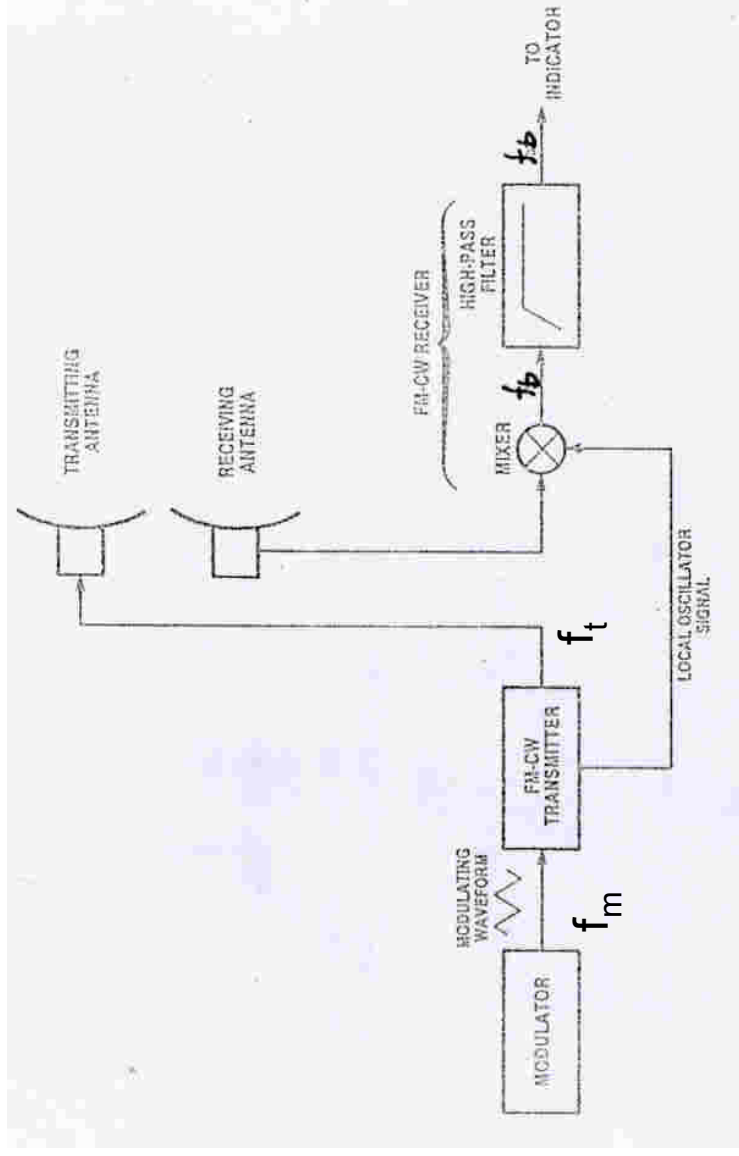
# Sistema

- A saída “altitude trips” fornece indicação para outros sistemas (Flight Director, Piloto Automáticos, sistemas de alerta, ...)
- Duas antenas – uma para recepção e outra para emissão



# Radar Altimétrico

- Misturando os sinais transmitidos e recebidos produz-se uma frequência  $f_b$  igual à diferença entre as duas frequências (beat frequency).
- Medindo a frequência  $f_b$  pode determinar-se a distância ao alvo



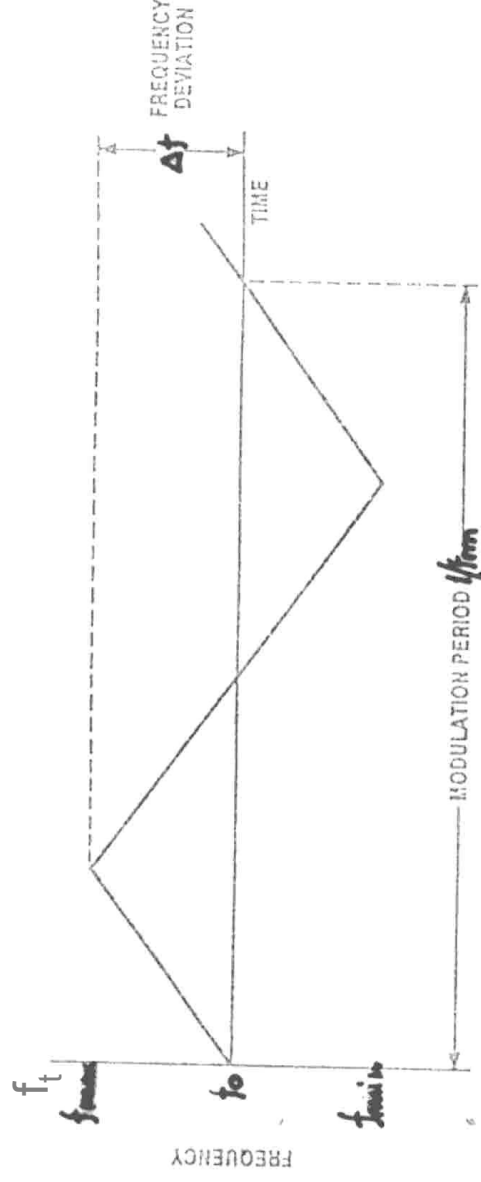


# Radar Altimétrico

- O modelador gera um sinal modulado em frequência de forma triangular ou sinusoidal com uma frequência  $f_m$ .
- As antenas de recepção e emissão são separadas, para evitar interferências entre os sinais emitidos e recebidos.
- O misturador no receptor mistura o sinal recebido com o sinal do oscilador local, executando a diferença entre ambos.
- A saída do misturador contém a frequência de batimento  $f_b$ .
- A existência de um filtro passa-alto atenua os sinais de frequência  $f_b$  fortes, tornando o sinal mais uniforme em amplitude.
- O indicador pode ser um contador de frequência (frequencímetro ou beat frequency counter) calibrado em unidades de distância (RANGE).

# Cálculo da Freq. Batimento

- $f_m$  é a frequência do sinal modulante (sinal triangular).
- $\Delta f$  é o desvio que a frequência vai ter, a partir da frequência central  $f_o$ .
- A diferença  $f_{\max} - f_{\min}$ , igual a  $2 * \Delta f$ , que também pode ser chamada de desvio frequência total.



# Exemplo

- Suponhamos que o nosso radar altímetro opera entre 4300 MHz e 4325 MHz. A variação máxima de frequência dentro de um ciclo é de 25 MHz.
- A frequência do sinal modulante ( $f_m$ ) é de 100 kHz.
- O radar está a transmitir numa frequência de 4310 MHz e está a receber uma frequência de 4325 MHz.

$$K = \frac{2\Delta f}{1} = \frac{25 \cdot 10^6}{1} = 5000 \cdot 10^9 \text{ Hz}^2$$
$$\frac{2f_m}{2 \cdot 100 \cdot 10^3}$$

$$\Delta f_{\max} = \frac{1}{k} \Delta f_{\max} = \frac{1}{5000 \cdot 10^9} 25 \cdot 10^6 = 0.5 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

$$R_{\max} = \frac{c}{2} \Delta f_{\max} = \frac{3 \cdot 10^8}{2} \cdot 0.5 \cdot 10^{-5} = 750 \text{ m}$$

$$\Delta f = 4325 - 4310 = 15 \text{ MHz}$$

$$t = \frac{1}{k} \Delta f = \frac{1}{5000 \cdot 10^9} 15 \cdot 10^6 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$R = \frac{c \cdot t}{2} = \frac{3 \cdot 10^8}{2} \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 450 \text{ m}$$

• Então o tempo que decorreu é dado por:

- A altitude a que está a aeronave:

# Cálculo da Freq. Batimento

- $K = df/dt = 2 * \Delta f / ((1/f_m)/2) = 4 \Delta f * f_m$

- Modulação triangular - a diferença de frequência entre sinais transmitidos e recebidos (frequência de batimento) é

- $f_b = t * K = (2R/c) * K = (8 * R * f_m * \Delta f) / c$

- $f_b$  - frequência de batimento ;

- $df/dt = K$  - taxa de variação da frequência de transmissão;

- $R$  - distância;

- $c$  - velocidade da luz.

# Radar Altimétrico

## exemplo

- Um avião está equipado com radar altimétrico tipo CW – FM.
  - Sinal modulante: triangular com frequência 1kHz;
  - Desvio da freq. do sinal modulado em relação à freq. central ( $\Delta f$ ) é 0,6 MHz
- Qual a freq. de batimento  $f_b$  como função da distância  $R$ ?
- $f_b = t \cdot K = (8 \cdot R \cdot f_m \cdot \Delta f) / c = [(8 \cdot 1.0 \cdot 10^3 \cdot 0.6 \cdot 10^6) / 3.00 \cdot 10^8] \cdot R = 16$   
(Hz/m)  $\cdot R$
- Por cada metro de altitude, a freq. de batimento varia 16Hz. Se a freq. de batimento medida  $f_b$  é 16 KHz, então a altitude  $R$  em metro será:
- $R = 16 \text{ KHz} / 16 \text{ Hz} \cdot \text{m}^{-1} = 1 \text{ km}$

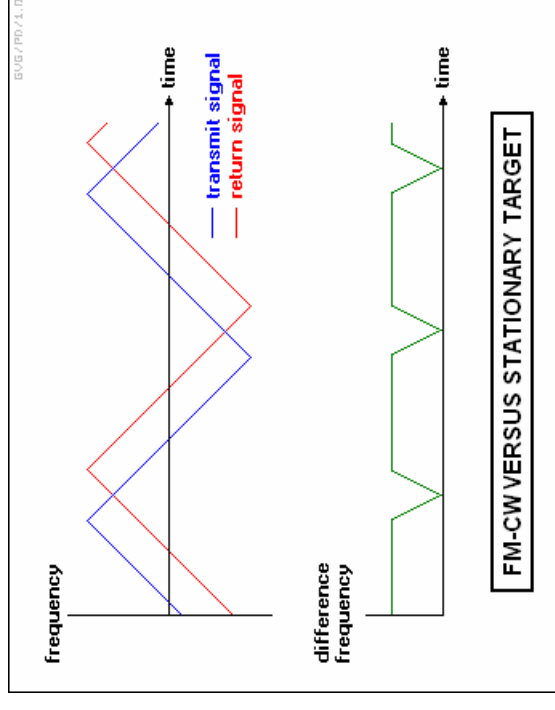
# Efeito do Desvio de Doppler

- A variação vertical da altitude e a própria velocidade da aeronave relativamente ao solo introduz um desvio de DOPPLER no sinal.
- O desvio de doppler provoca falsas leituras de distância;

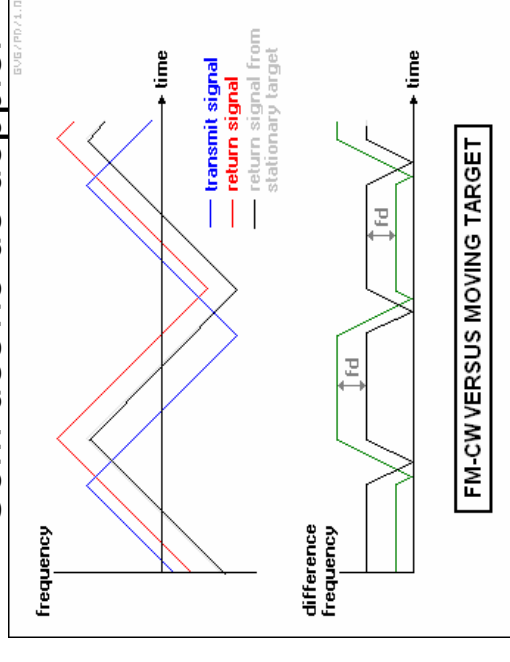
$$f_{Doppler} = \frac{2vf}{c}$$

- Resolução do problema:
  - No flanco ascendente o efeito de doppler subtrai-se ao sinal e no flanco descendente soma-se
  - Executa-se então a **média entre os dois flancos**

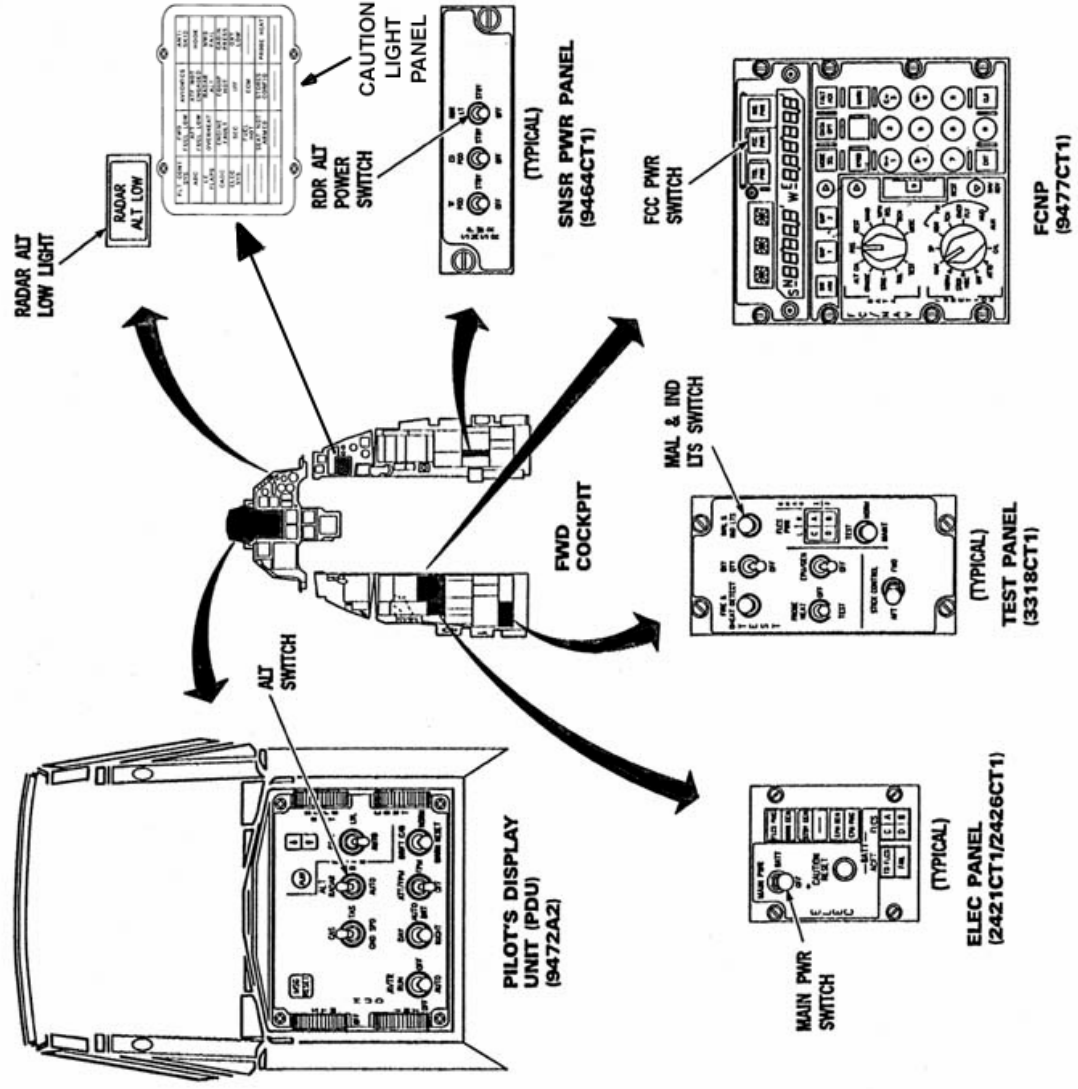
Sem desvio de doppler



Com desvio de doppler



# Instalação do radar altimétrico





**FIM**