

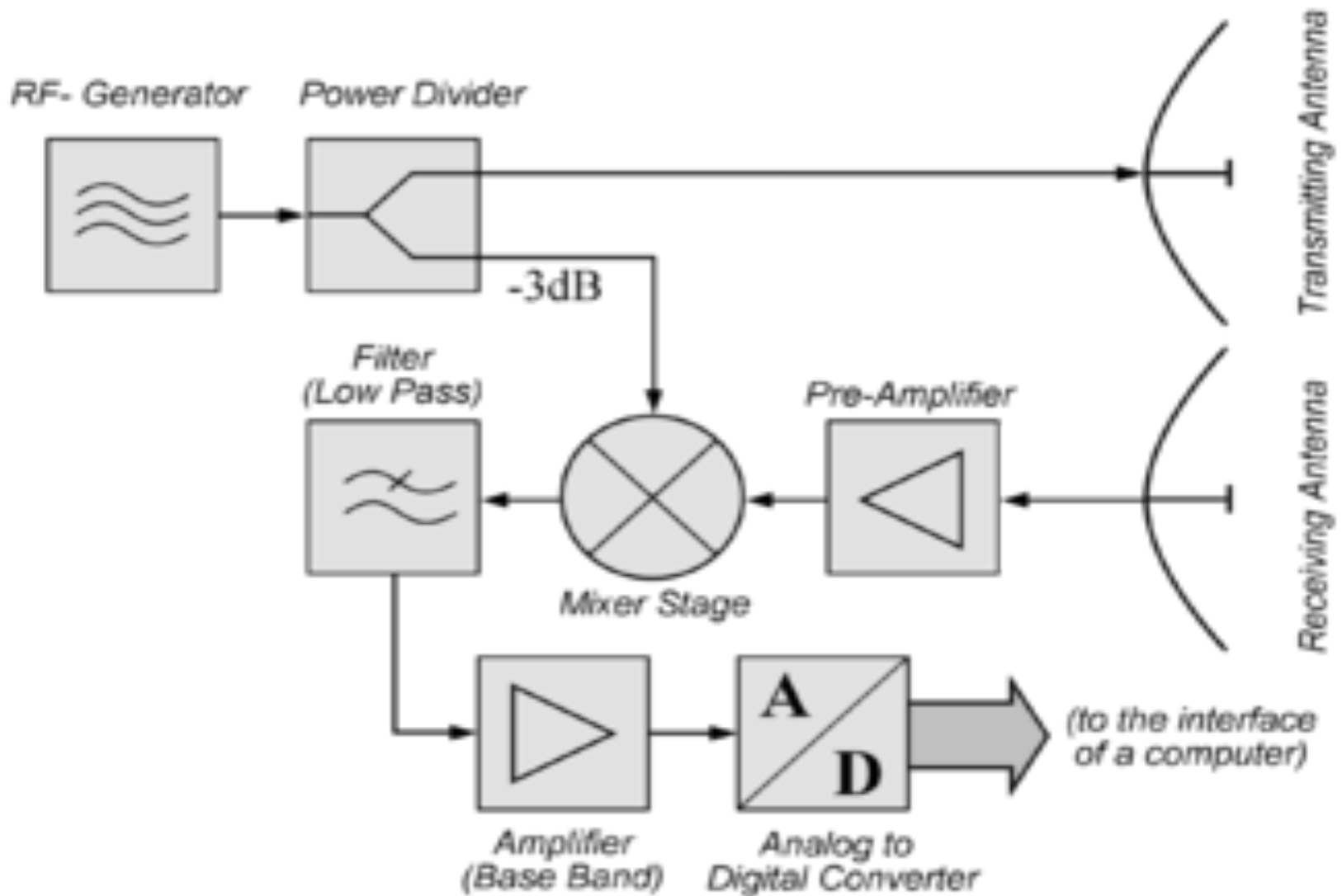
Лекція 22.
FM-CW РАДАР
НЕПЕРЕРВНОЇ ДІЇ.
FM-CW CONTINUOUS WAVE
RADAR.
(FM-CW Radar).

РЛС с модулированным непрерывным излучением

РЛС с частотно-модулированным непрерывным излучением (FM-CW) предназначены **для измерения небольших расстояний**. Использование модуляции позволяет увеличить надежность полученных данных путём измерения расстояния вместе с измерением скорости. Это важно в случаях, **когда есть больше, чем один источник отраженных сигналов**, приходящих на радиолокационную антенну.

Этот вид РЛС часто используется в качестве "**радиолокационного высотомера**" для измерения точной высоты при посадке самолетов. Он также используется как система раннего предупреждения о ракетном нападении и бесконтактный датчик.

При использовании частотной модуляции **доплеровский сдвиг не всегда требуется** для обнаружения целей.



Блок-схема простейшего FM CW радара

В этой системе передаваемый сигнал с известной стабильной частотой непрерывной волны изменяется вверх и вниз по частоте в течение фиксированного периода времени с помощью модулирующего сигнала. **Разность частот** между принимаемым и передаваемым сигналом **увеличивается с увеличением задержки**, и, следовательно, с расстоянием. Эхо от цели затем **смешивают** с переданным сигналом для получения сигнала **биений**, который даст **расстояние** до цели после демодуляции.

Возможны разные модуляции и частота передатчика может изменяться следующим образом:

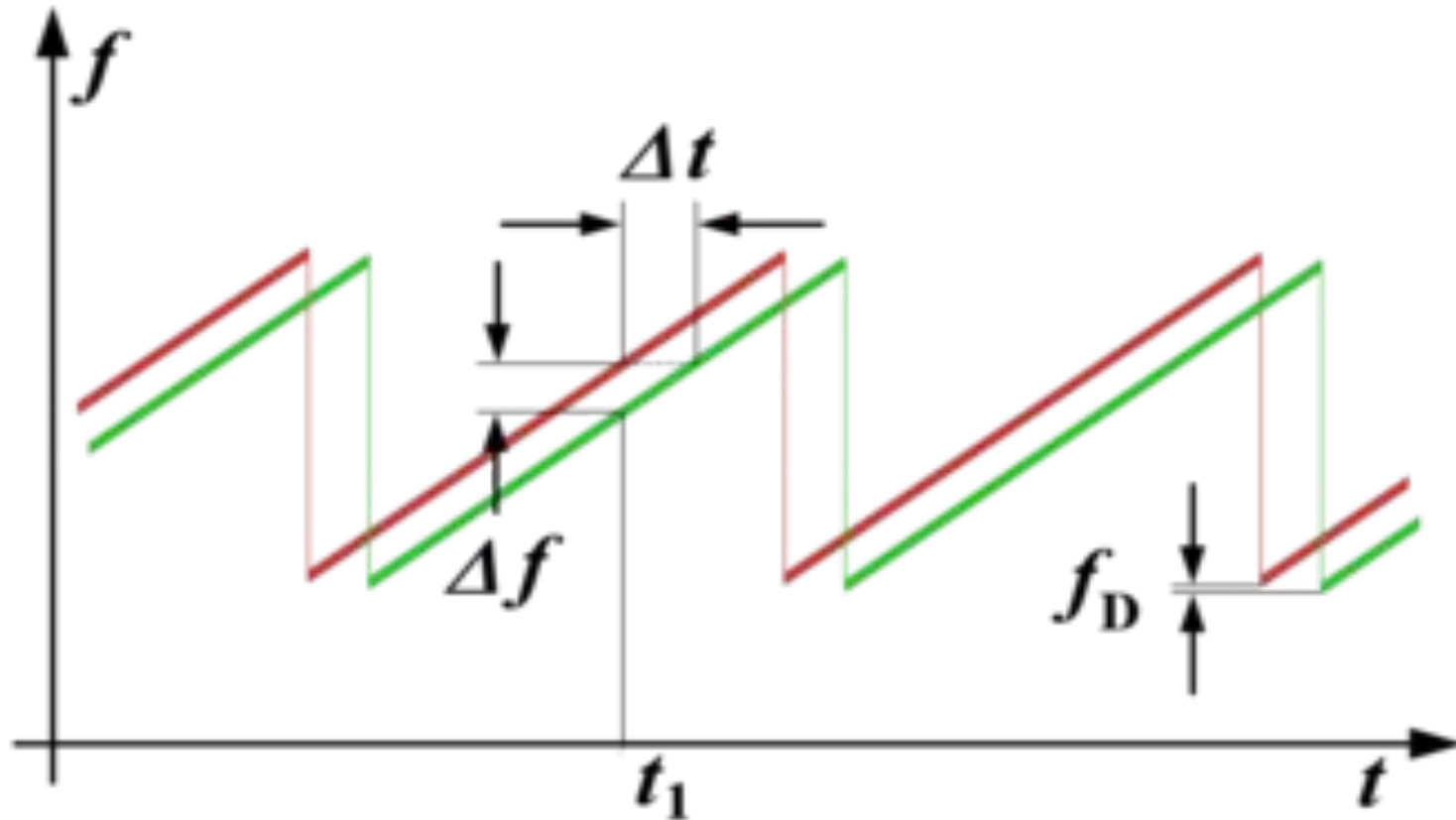
- Синусоидально;
- Пилообразно;
- Треугольно;
- Прямоугольно.

Дальность ограничивается **1/4**
длины волны модуляции
излучаемого сигнала. Дальность
для частоты модуляции 100 Гц
будет 500 км. Этот предел зависит
от типа модуляции и
демодуляции. Общее правило:

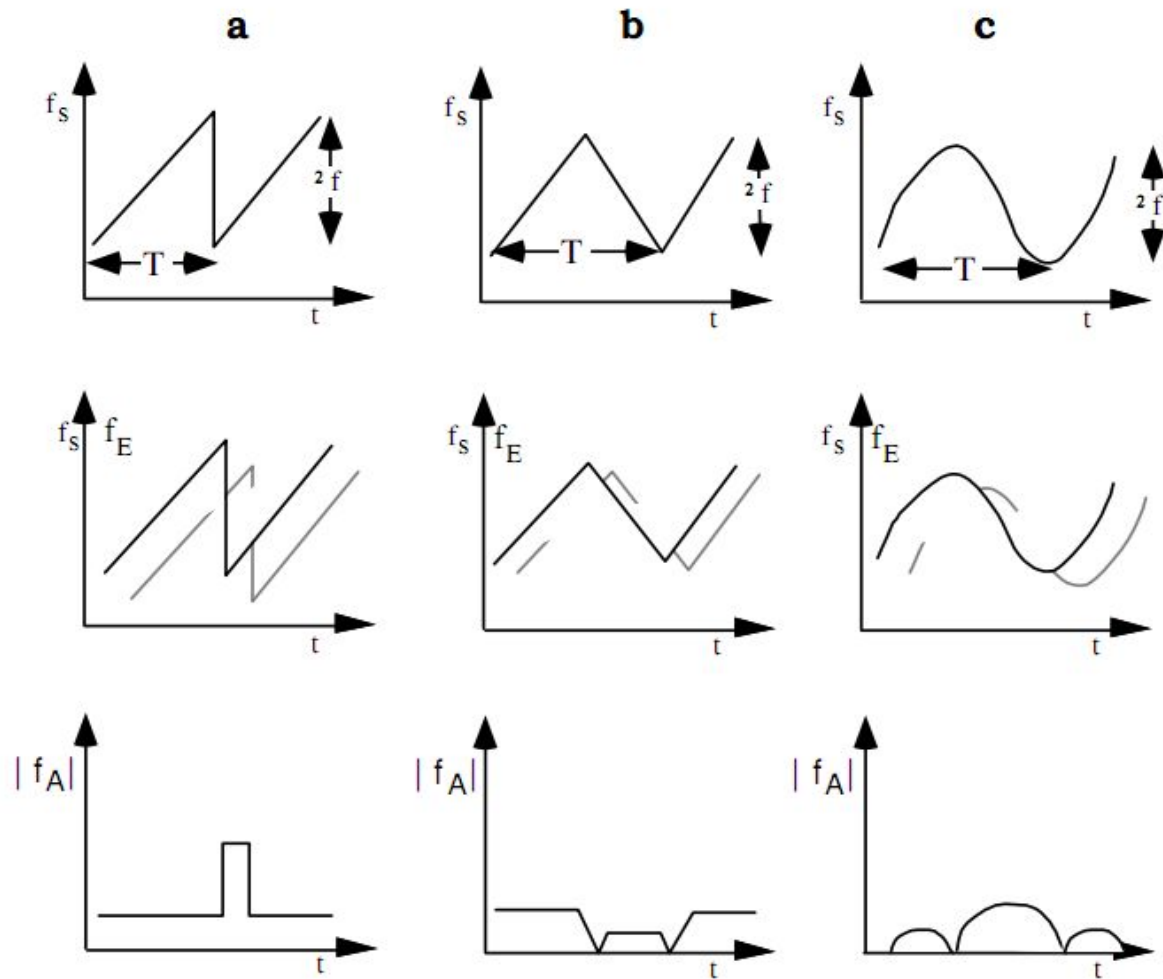
$$\text{Instrumented Range} = F_r - F_t = \frac{\text{Speed of Light}}{(4 \times \text{Modulation Frequency})}$$

РЛС будет давать неправильное расстояние для отражений на больших расстояниях пределами инструментального диапазона. Измерения дальности FMCW радаром являются надежными только до **примерно 60%** от инструментального диапазона, т.е. примерно 300 км на 100 Гц FM.

Пилообразная Частотная МОДУЛЯЦИЯ



**Измерение дальности
с помощью FM-CW РЛС:**
если ошибкой, вызванной возможным
доплеровским сдвигом можно
пренебречь, и мощность передатчика
линейно частотно модулирована, то
время задержки **пропорционально**
разности частот передаваемого и
принимаемого сигнала в любое время.



$T = \text{Period}$, $\Delta f = \text{Frequency sample}$,
 $f_s(t) = \text{Sending frequency}$
 $f_E(t) = \text{Receiving frequency} = f_s(t - \tau) \pm f_D$,
 $f_A = \text{"Beatfrequency" (Mixeroutput)} = f_T - f_R$

Figure 7.7 FM CW modulation schemes.
a Sawtooth modulation, **b** Triangular modulation, **c** Sinusoidal modulation

The figure shows the transmitting signal in the upper lines, in the middle row the transmitting and receiving signals, and on the bottom the difference from both. The transmitting frequency is, as follows, time-dependent for the sawtooth modulation.

$$f_T = f_0 + \Delta f \cdot \frac{t}{T} \quad (7.5)$$

For the symmetric triangular modulation results in:

$$f_T = f_0 + \Delta f \cdot \frac{2t}{T} \quad (7.6)$$

In the following the sawtooth modulation will be further considered. During the run time $\Delta t = 2R/c_0$ for the signal to the target and back, the transmitting frequency is altered corresponding to Δt :

$$f_T = f_0 + \Delta f \cdot \frac{t + \Delta t}{T} \quad (7.7)$$

The mixing of the received signal with the current transmitting signal takes place in the radar receiver. From this the result is, among other things, the difference frequency f_B , also known as the “beat frequency”:

$$f_B = (f_0 + \Delta f \cdot \frac{t + \Delta t}{T}) - (f_0 + \Delta f \cdot \frac{t}{T}) = \Delta f \frac{\Delta t}{T} \quad (7.8)$$

The range R follows from this:

$$R = c_0 \cdot \frac{f_B}{2\Delta f} \cdot T \quad (7.9)$$

The beat frequency is proportional to the target range R . More complex frequency processes can be calculated analogously.

Разрешение по дальности FM CW радара

The measurement period t_{meas} and the utilized bandwidth Δf are crucial for the range resolution. For targets, for which $\Delta t \ll T$ applies, nearly the complete period is available for the measurement:

$$t_{meas} \approx T \quad (7.10)$$

Two targets with the ranges R_1 and R_2 have a difference in frequency of:

$$\Delta f_B = |f_{B1} - f_{B2}| = \frac{2\Delta f}{c_0 T} \cdot |R_1 - R_2| = \frac{2\Delta f}{c_0 T} \cdot \Delta R \quad (7.11)$$

From the measurement period T comes the minimum resolvable beat frequency $f_{B \min} = 1/T$.

Thus the result is the minimum range resolution:

$$\Delta f_{B \min} = \frac{1}{T} = \frac{2\Delta f}{c_0 T} \cdot \Delta R_{\min} \Rightarrow \Delta R_{\min} = \frac{c_0}{2\Delta f} \quad (7.12)$$

This is inversely proportional to the bandwidth. For this purpose, the target must be analyzed throughout the entire frequency pass. A reduction of the measurement period reduces the

END.