

## Modulazione

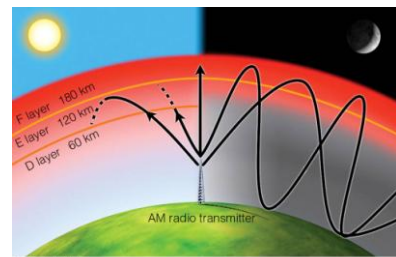
## Perché è importante la frequenza...

- Tutti i segnali hanno una certa banda
- **Conoscere la banda di un segnale è fondamentale per...**
  - Stabilire la frequenza di campionamento (evitando l'aliasing)
  - Filtrare i rumori fuori banda
  - Scegliere le modalità e il mezzo di trasmissione (le cui proprietà variano con la frequenza in maniera da non distorcere o attenuare il segnale)

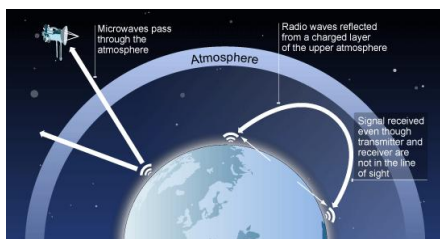
## Effetti del mezzo di trasmissione

- **Il mezzo di trasmissione influenza le modalità di propagazione del segnale, inoltre ha effetto sull'attenuazione e sulla distorsione del segnale**
- Ad esempio le onde radio sono riflesse dalla ionosfera, oppure dalle montagne e dagli altri ostacoli che incontrano sul loro cammino e possono essere influenzate dalle condizioni atmosferiche
- Le microonde attraversano senza problemi l'atmosfera purché non siano assorbite dal vapore acqueo per certe bande specifiche di frequenza
- L'atmosfera in questi casi si comporta da «filtro» lasciando passare solo le frequenze che cadono al di fuori delle bande di assorbimento

## Onde Radio



## Onde Radio vs Microonde

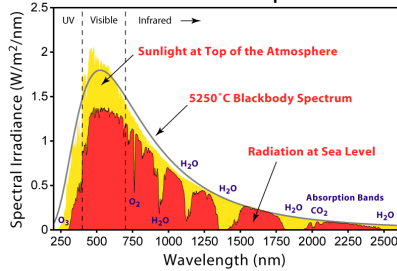


## Mezzo di trasmissione

- Lo stesso avviene anche per la radiazione elettromagnetica proveniente dal sole
- I vari gas contenuti nell'atmosfera assorbono le radiazioni solari in maniera diversa per ogni frequenza (vedi figura seguente)
- Anche i cavi elettrici hanno delle **bande di trasmissione** specifiche, ovvero degli **intervalli di frequenza in cui il diagramma di bode è approssimativamente piatto: l'attenuazione è la stessa per tutte le frequenze all'interno della banda**

## Come l'atmosfera filtra le radiazioni solari

### Solar Radiation Spectrum



## Distorsione

- Se l'attenuazione fosse diversa per le varie frequenze il segnale risulterebbe distorto
- Per fare in modo che il segnale si trovi all'interno di questa banda specifica del mezzo di trasmissione si deve fare in modo da «traslare» la banda del segnale
- Quest'operazione viene detta modulazione del segnale

## Modulazione

- La modulazione consiste nel far variare uno dei parametri di un'onda sinusoidale (ampiezza, fase o frequenza) detta *portante* secondo un segnale che viene detto *modulante*, il risultato di questa operazione è un segnale *modulato*
- Come funziona: si immagina che il nostro mezzo di trasmissione «lavori» in maniera ottimale in una stretta banda intorno alla frequenza (solitamente elevata)  $f_0$ , mentre la banda del nostro segnale è a frequenze molto più basse ad es.  $[0, f_1]$  con  $f_1 \ll f_0$

## Modulazione di ampiezza

- Si prende un'armonica a freq.  $f_0$  (che rappresenta la nostra portante) e si fa variare la sua ampiezza nel tempo sommandoci l'ampiezza del nostro segnale modulante  $s_m(t)$
- $S_{\text{modulato}}(t) = (A + s_m(t)) \cos(2\pi f_0 t)$
- Questa si chiama modulazione di ampiezza...
- Per capire cosa si ottiene, prendiamo in considerazione il caso in cui  $s_m(t)$  è anch'esso un'armonica ma con frequenza molto inferiore a quella della portante...

## Modulazione di ampiezza

- Segnale modulante:  $v_m(t) = V_m \cos \omega_m t$



- Portante:  $v_p(t) = V_p \cos \omega_p t$



- Segnale modulato:  $v_{AM}(t) = (V_p + V_m \cos \omega_m t) \cdot \cos \omega_p t$



## Un po' di calcoli...

- Sviluppando i calcoli si ottiene:

$$\begin{aligned} v_{AM}(t) &= (V_p + mV_p \cos \omega_m t) \cos \omega_p t = \\ &= V_p \cos \omega_p t + mV_p \cos \omega_m t \cos \omega_p t \end{aligned}$$

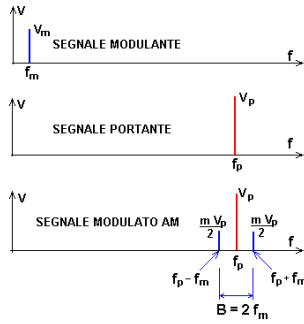
- Applicando le formule di Werner:

$$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)]$$

- Si ottiene:

$$v_{AM}(t) = V_p \cos \omega_p t + \frac{mV_p}{2} \cos(\omega_p - \omega_m)t + \frac{mV_p}{2} \cos(\omega_p + \omega_m)t$$

### Domínio della frequenza



### Commenti...

- Quello che si osserva è che in luogo di un'armonica alla frequenza  $f_m$ , l'operazione di modulazione ne ha prodotto due traslate rispettivamente a destra e a sinistra della frequenza portante  $f_p$  in corrispondenza delle frequenze  $f_p + f_m$  e  $f_p - f_m$
- Ho ottenuto dunque di **traslare la frequenza del segnale di partenza intorno alla frequenza della portante** che è quella ottimale per la trasmissione del segnale

### In generale

- L'operazione di modulazione di ampiezza:  $S_{\text{modulato}}(t) = (A + s_m(t)) \cos(2\pi f_0 t)$
- Ha come effetto di creare due copie dello spettro di  $s_m(t)$  **centrate intorno alla frequenza portante  $f_0$**
- Tuttavia invece dell'ampiezza di poteva decidere di far variare la fase o la frequenza della portante, in questo caso si sarebbe parlato di modulazione di fase o di frequenza

### Modulazione di frequenza e di fase

- Data un segnale sinusoidale, l'informazione del segnale modulante può essere portata dalla fase e dalla frequenza, invece che dall'ampiezza.

$$v(t) = A \cos(\omega_0 t + \phi(t))$$

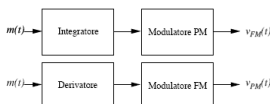
- Si definiscono fase istantanea e frequenza istantanea le due quantità:

$$\psi(t) = \omega_0 t + \phi(t) \quad f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\psi(t)}{dt} = f_0 + \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt}$$

- Dal punto di vista della "forma", in tutti e due i casi il segnale è ad ampiezza costante, e **periodo variabile**.

### Relazione tra le mod. di frequenza e di fase

- Il segnale modulante può andare a cambiare la fase o la frequenza istantanea della portante:
- PM:  $v(t) = A \cos[\omega_0 t + k' m(t)] \rightarrow f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\psi(t)}{dt} = f_0 + \frac{k'}{2\pi} \frac{dm(t)}{dt}$
- FM:  $v(t) = A \cos[\omega_0 t + k'' \int_0^t m(\tau) d\tau] \rightarrow f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\psi(t)}{dt} = f_0 + \frac{k''}{2\pi} m(t)$
- I corrispondenti modulatori avranno uno schema:



### Modulazione Ampiezza-Frequenza

