

Sistema di Comunicazione Digitale

①

TRASFERISCE L'INFORMAZIONE DA UNA SORGENTE DIGITALE AD UN SINK

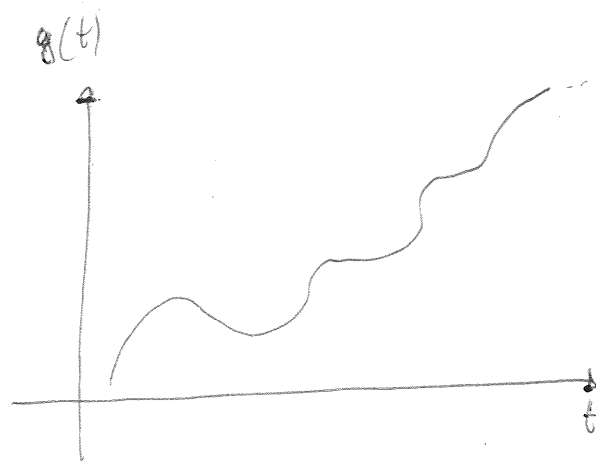
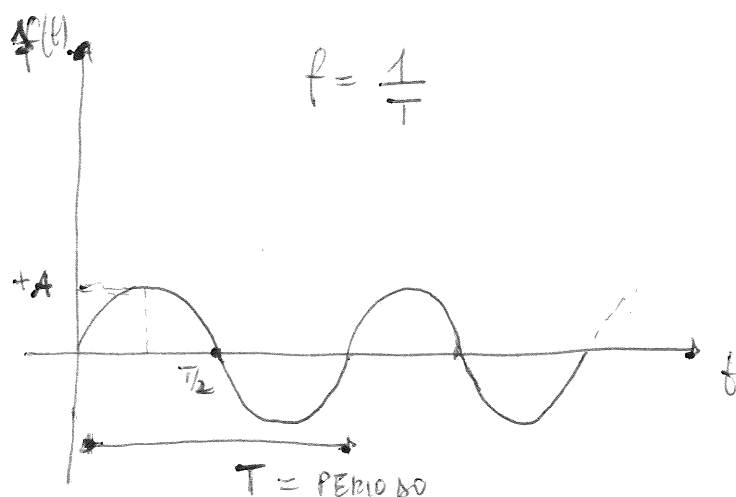
Sistema di Comunicazione Analogico

TRASFERISCE L'INFORMAZIONE DA UNA SORGENTE ANALOGICA AD UN SINK

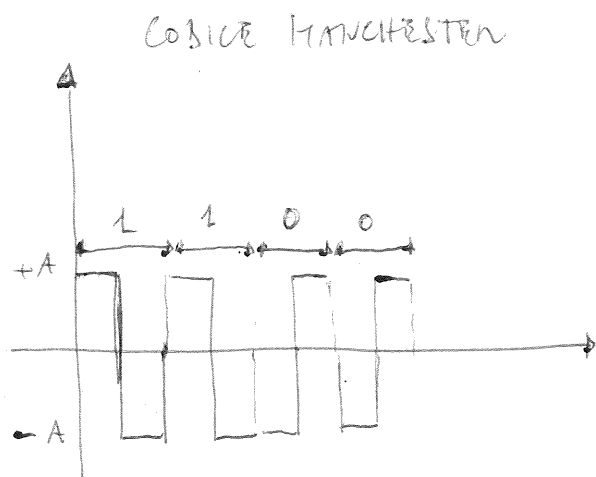
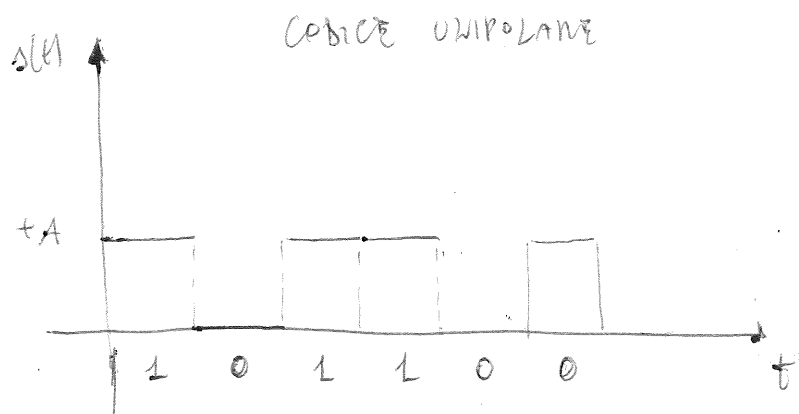
Informazione

Da un punto di vista elettrico rappresenta un contenuto ^{INFORMATIVO} ~~PERENATO~~ attraverso una forma d'onda (FUNZIONE DEL TEMPO)
(SEGNALE CORRENTE
SEGNALE TENSIONE)

Forma d'onda ANALOGICA



Forma d'onda DIGITALE



DIFFERENZA TRA SISTEMA ELETTRICO E SISTEMA DI COMUNICAZIONE

②

- NEL SISTEMA ELETTRICO, IN GENERALE, LE FORME D'ONDA SONO CONOSCIUTE A PRIORI E LA PROGETTAZIONE DEL SISTEMA HANNA A RIDURRE LA PERDITA DI ENERGIA
- NEL SISTEMA DI COMUNICAZIONE LA FORMA D'ONDA CHE ARRIVA AL RICEVITORE E' SCONOSCIUTA (ALTRIMENTI NON CI SAREBBE SCAMBIO DI INFORMAZIONE) E IL SISTEMA PROGETTATO DEVE ESSERE ROBUSTO E CAPACE DI ADATTARSI ALLE ALTERAZIONI INTRODOTTE DAL RUMORE (DISTURBO)

VANTAGGI COMUNICAZIONE DIGITALE

1. Circuiti digitali relativamente poco costosi
2. Privacy può essere offerta attraverso l'"ENCRYPTION"
3. Dati provenienti dalla voce, video e dati possono essere unificati e trasmessi sullo stesso sistema digitale (MULTIPLEXING)
4. Per sistemi di comunicazione a lunga distanza il rumore non si accumula da ripetizione a ripetizione
5. Gli errori sui dati rilevati possono essere piccoli anche in presenza di "GRANDE RUMORE" sul segnale ricevuto
6. Gli errori possono essere corretti attraverso l'uso della "CODIFICA" CODING.

SVANTAGGI COMUNICAZIONE DIGITALE

1. IN GENERALE E' RICHIESTA PIU' BANSA RISPETTO AI SISTEMI ANALOGICI
2. E' RICHIESTA LA SINCRONIZZAZIONE

Forma d'onda Deterministica

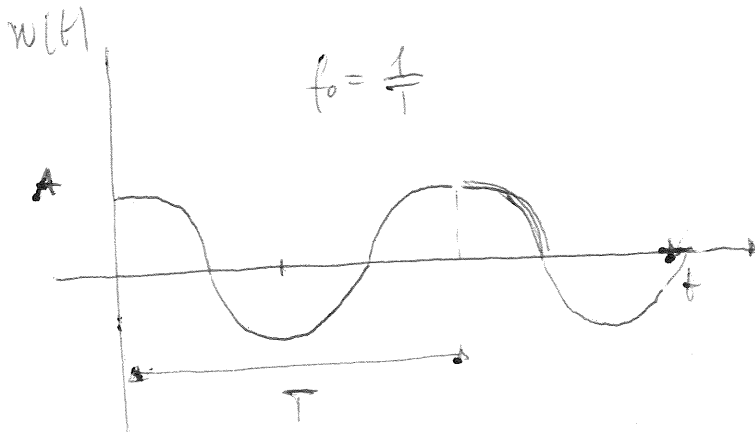
③

$$w(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

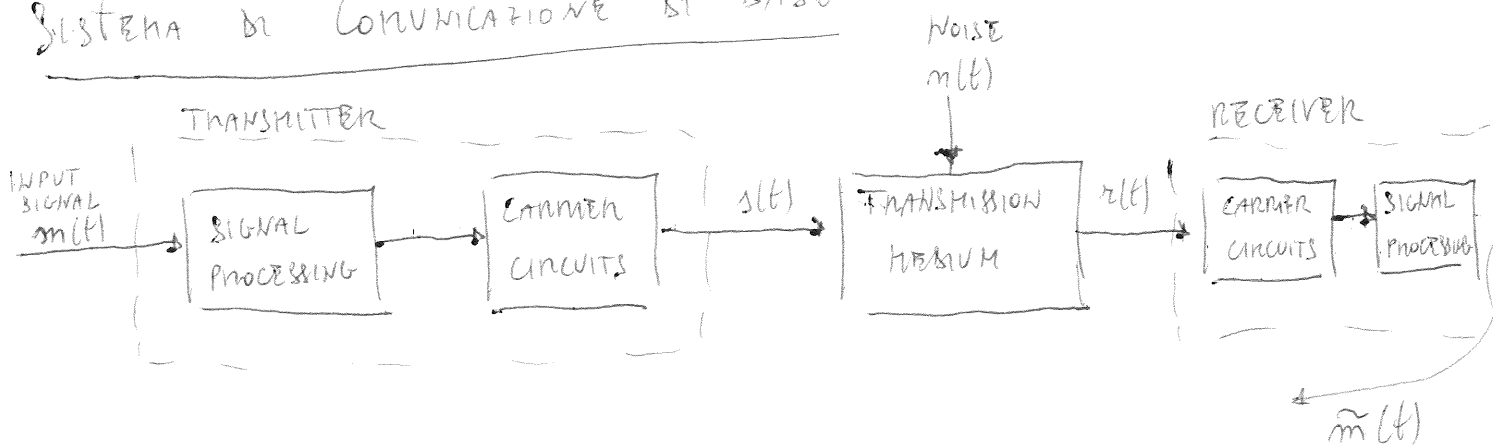
ω_0 = pulsazione angolare

$$\omega_0 = 2\pi f_0$$

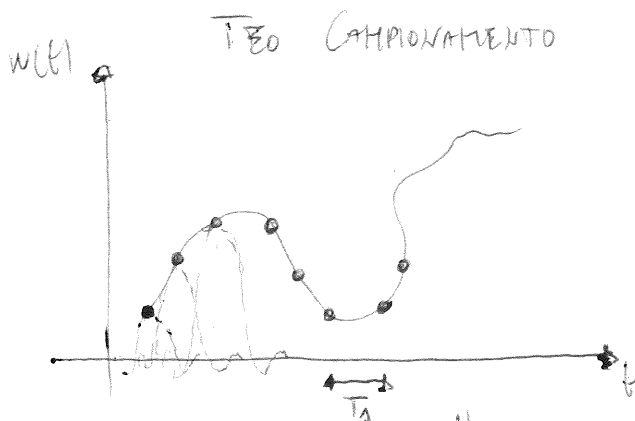
φ_0 = fase dell'onda



Sistema di Comunicazione di Base



Contenuto Frequentiale di un Segnale



$$\Rightarrow w(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_n \frac{\sin[\pi f_s (t - \frac{n}{f_s})]}{\pi f_s (t - \frac{n}{f_s})}$$

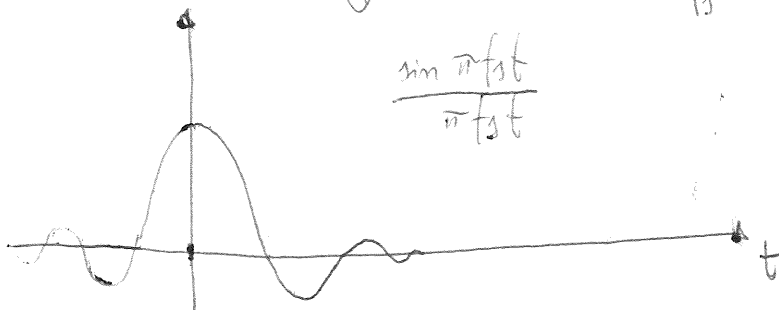
T_s = SAMPLING TIME

$$f_s = \frac{1}{T_s} = \text{freq. di campionamento}$$

$$a_n = f_s \int_{-\infty}^{+\infty} w(t) \frac{\sin[\pi f_s (t - \frac{n}{f_s})]}{\pi f_s (t - \frac{n}{f_s})} dt$$

SE $w(t)$ è A BANDA LIMITATA

$$a_n = w(\frac{n}{f_s})$$



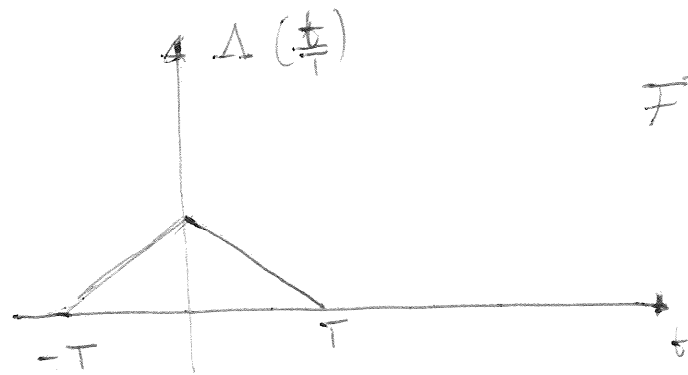
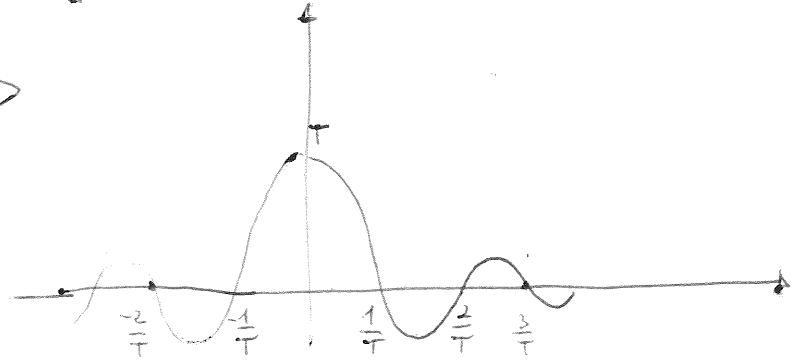
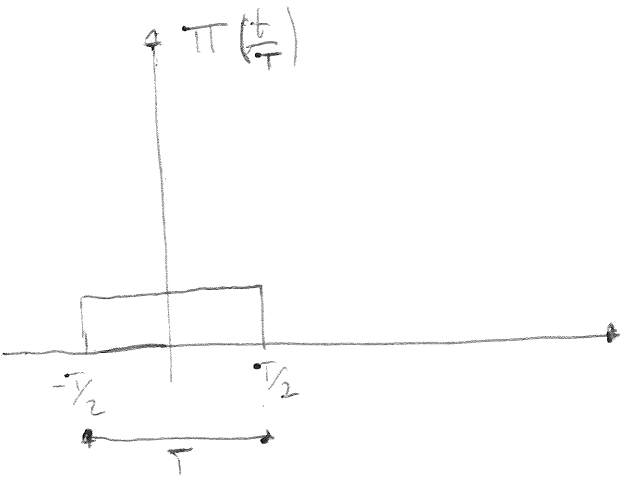
Contenuto Frequenziale Forma d'onda

(4)

Trasformata di Fourier è uno strumento matematico che mappa le funzioni nel dominio del tempo in funzioni nel dominio della frequenza

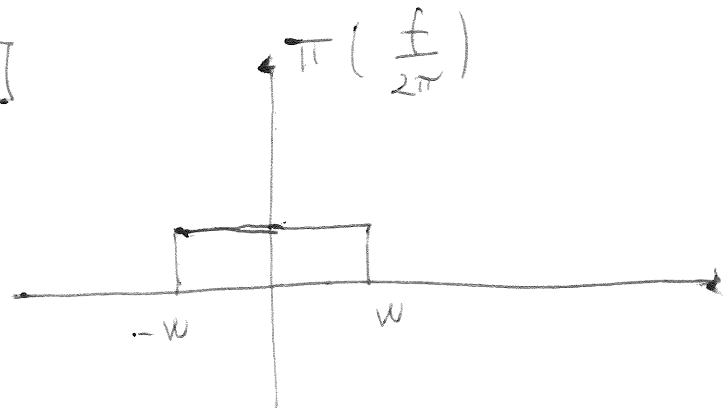
$$\mathcal{F}\left[\pi\left(\frac{t}{T}\right)\right] = T \operatorname{sinc}(\pi T f)$$

$\Rightarrow$



$$\mathcal{F}\left[\Lambda\left(\frac{t}{T}\right)\right]$$

$\Rightarrow$



$$\pi\left(\frac{t}{T}\right) \triangleq \begin{cases} 1 & |t| \leq \frac{T}{2} \\ 0 & |t| > \frac{T}{2} \end{cases}$$

$$\Lambda\left(\frac{t}{T}\right) \triangleq \begin{cases} 1 - \frac{|t|}{T}, & |t| \leq T \\ 0 & |t| > T \end{cases}$$

La serie di Fourier è uno strumento matematico che mappa una generica funzione nel dominio del tempo (segnale) in una serie di infinite onde armoniche:

$$w(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos(n\omega_0 t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega_0 t) \quad \left. \begin{matrix} a_n \\ b_n \end{matrix} \right\} \text{coefficienti di Fourier}$$

BANDA DI UN SEGNALE

(5)

IL CONTENUTO FREQUENZIALE DI UN SEGNALE CONSENTE DI VALUTARE LA BANDA^(B) DEL SEGNALE STESSO. LA BANDA DEL SEGNALE IDENTIFICA QUEL RANGE DI FREQ. DOVE LO SPETTRO DEL SEGNALE HA VALORE NON NULO (MAI CHE RAPPRESENTA IL CONTENUTO FREQ. ESSENZIALE PER LA RICOSTRUZIONE DEL SEGNALE STESSO) $\Rightarrow W(f) = \mathcal{F}[w(t)] = 0$ PER $|f| \geq B$

FREQUENZA DI NYQUIST

$$(f_s)_{\min} = 2B$$

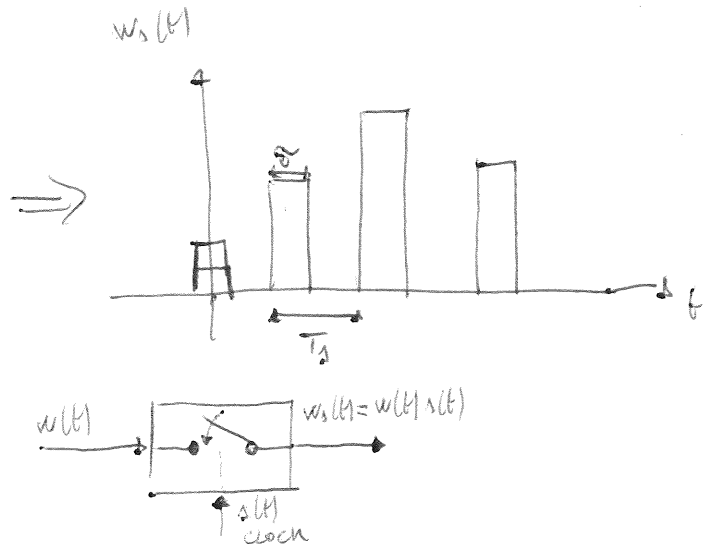
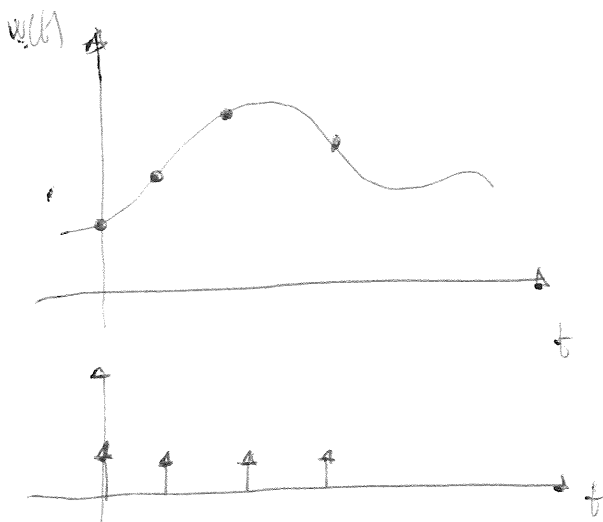
SE LA FORMA D'ONDA E' DEFINITA NELL'INTERVALLO T_0 IL NUMERO DI CAMPIONI MINIMI PER COSTRUIRE L'ONDA E' IL SEGUENTE

$$N = \frac{T_0}{1/f_s} = f_s T_0 \geq 2BT_0$$

$$\boxed{N \geq 2BT_0}$$

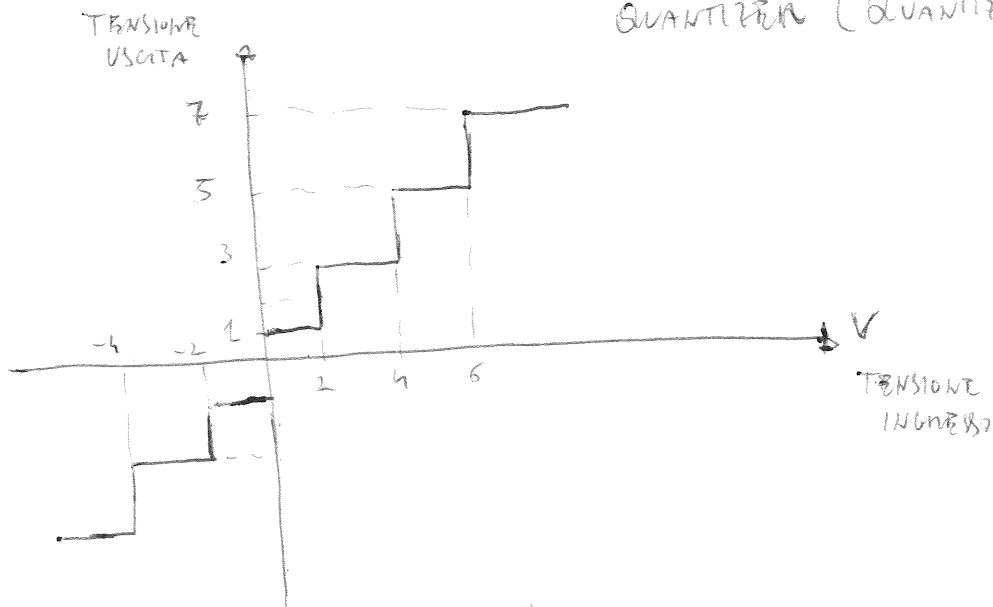
TRANSFORMAZIONE DA SEGNALE ANALOGICO A SEGNALE DIGITALE

SAMPLING



QUANTIZZAZIONE (QUANTIZATION)

6



CODING

+7

110

-1

000

+5

111

-3

001

+3

101

-5

011

+1

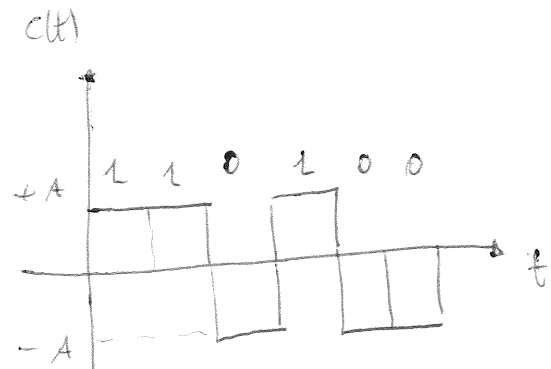
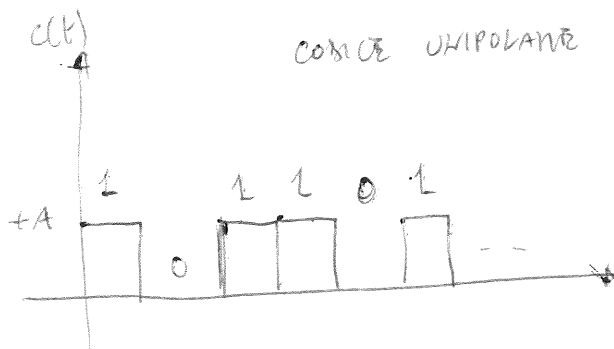
100

-7

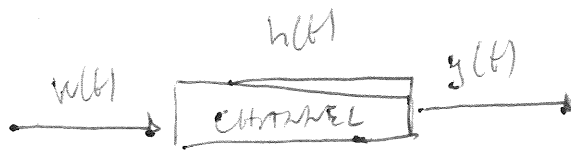
010

COME RAPPRESENTARE 1 BIT ??

IL MODO IN CUI RAPPRESENTARE "1" E "0" E' DEFINITO NEL "CODICE DI LINEA"



1. CANALE COME FILTRO



SISTEMI DINAMICI LINEARI STAZIONARI



$$y(t) = w(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} w(\tau) h(t-\tau) d\tau$$

CONVOLUZIONE
NEL CONTINUO

$h(t)$ = RISPOSTA ALL'IMPULSO (RISPOSTA DEL SISTEMA A SEGUITO DI UNA SOLLECITAZIONE IMPULSIVA)

$$FT[h(t)] = \text{FUNZIONE DI TRASFERIMENTO} = H(f)$$

Convoluzione Discreta

$$w(n) * h(n) \triangleq \sum_{m=-\infty}^{+\infty} w(m) h(n-m) \quad \text{se } w \text{ e } h \text{ sono DISCRETE}$$

$$Y(f) = W(f) \cdot H(f)$$

$H(f)$ DETERMINA LA DINAMICA DEL SISTEMA. SE IL SISTEMA È CARATTERIZZATO DA UN CANALE DI COMUNICAZIONE $H(f)$ DETERMINA LA DINAMICA DEL CANALE (COME IL CANALE RISPONDE ALLE SOLLECITAZIONI E SEGNALE IN INGRESSO)

BANDA BASE E BANDA PASSANTE

I SEGNALE PRESENTI IN NATURA (UNA GRAN PARTE DI ESSI) HA CONTENUTI FREQUENZIALI IN BANDA BASE. TUTTAVIA PUÒ CONVENIRE TRASLANE I SEGNALE A DELLE FREQUENZE LONTANE DALL'ORIGINE (BANDA PASSANTE)

Spettro di Frequenze

3-30 kHz	VLF (Very Low Frequency)	Ground Wave	Comunicazioni sottomarina Long Range Navigation
30-300 kHz	LF (Low Frequency)	Assorbimento dall'atmosfera	Radio Beacons
300-3000 kHz	MF (Medium Frequency)	Night Sky Wave	AM Broadcasting
3-30 MHz	HF (High Freq.)		Radio AMTOR, Comunicazioni militari, Comunicazioni navi, Telefono, Telegrafo
30-300 MHz	VHF (Very High Freq.)		VHF Television, FM Air Aircraft Communication
0.3-3 GHz	UHF (Ultra High Freq.)	DSS	UHF Television, Telefoni cellulari, Radar, Microonde
Etc.			Sistemi di comunicazione personali

Spettro di Frequenze

$$x(t) \xrightarrow{FT} X(f)$$

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x(t)] e^{-j\omega t} dt \quad \text{con } \omega = 2\pi f$$

$$W(f) = X(f) + j Y(f)$$

Rappresentazione Cartesiana

$$|W(f)| = |W(f)| e^{j\theta(f)}$$

$$|W(f)| = \sqrt{X^2(f) + Y^2(f)} \quad \theta(f) = \tan^{-1} \left(\frac{Y(f)}{X(f)} \right)$$

Antitrasformata di Fourier $\Rightarrow x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} W(f) e^{j\omega t} df$

Segnale impulsivo $\delta(t)$

9

$$x(t) = \sum_{i=1}^N a_i \delta(t - \tau_i) \Rightarrow y(t) = \sum_{i=1}^N a_i h(t - \tau_i)$$

$\Downarrow$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) \delta(t - \tau) d\tau \Rightarrow y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) h(t - \tau) d\tau$$

Densità Spettrale di ~~Potenza~~ Energia

$$E(f) = |W(f)|^2 \Rightarrow E = \int_{-\infty}^{+\infty} E(f) df$$

Energia associata al segnale importante per capire contenuto energetico del segnale

Densità Spettrale di Potenza $\Rightarrow \mathcal{P}_w(f) \triangleq \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{|W_T(f)|^2}{T} \right)$

Rumore Bianco Gaussiano

$$\mathcal{P}_w(f) = \frac{N_0}{2}$$

$\Downarrow$

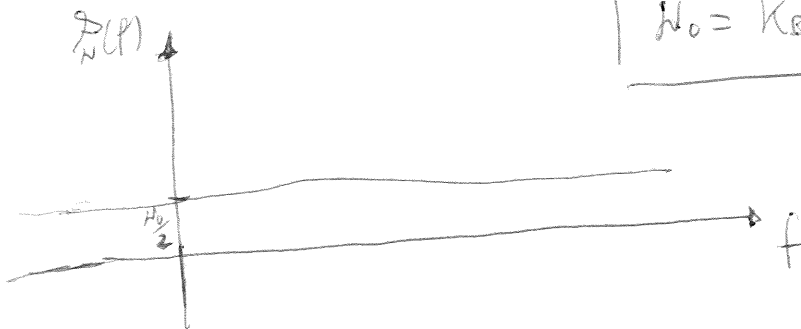
$$P = \int_{-\infty}^{+\infty} \mathcal{P}_w(f) df$$

$$N_0 = k_B T_e$$

costante di Boltzmann

$$k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Joule/Kelvin}$$

$$T_e \approx 4K$$



Filtri Lineari (Canali senza distorsione)



$$y(t) = A x(t - T_d)$$

T_d = propagation delay

CONDIZIONI DI LINEARITÀ DEL FILTRO

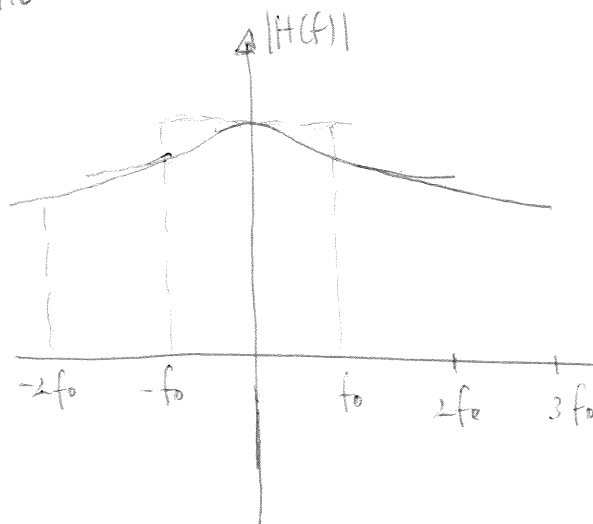
90

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} = A e^{-j\omega T_d}$$

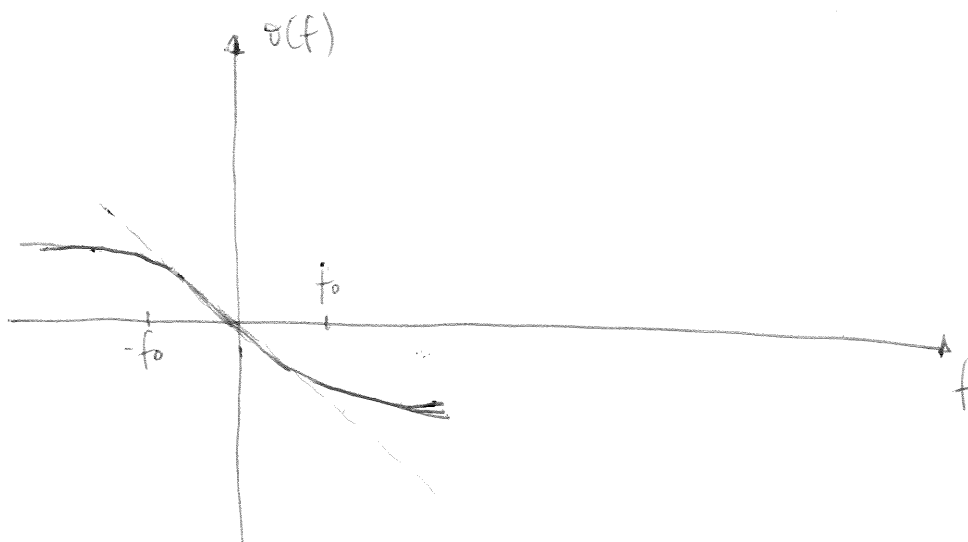
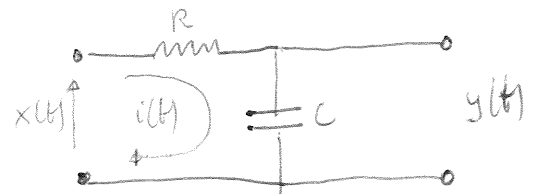
1. $H(f) = \text{costante} = A$

2. $\theta(f) = \angle H(f) = -\underbrace{2\pi f T_d}_\omega$ FUNZIONE LINEARE DELLA FREQUENZA

ESEMPIO



CIRCUITO RC



Effetti del canale di comunicazione

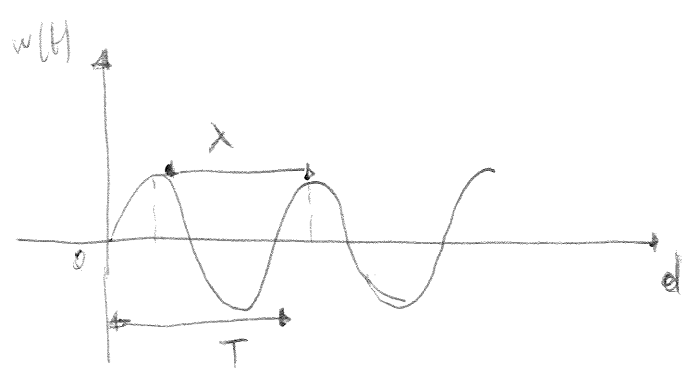
1. INTRODUZIONE DI RITARDO DI PROPAGAZIONE D_p
2. INTRODUZIONE FATTORE DI GUADAGNO A (POTREBBE RIDURRE LA FORMA D'ONDA)
3. ~~TRASLAZIONE~~ ^{ALTERAZIONE} FREQUENZIALE $f + \Delta f$
4. Effetto Doppler (Shift di frequenza)

- 5. Distorsione del segnale in ampiezza e frequenza (LINEARE E NON LINEARE)
- 6. Alterazione della fase del segnale
- 7. Ritardo di Trasmissione D_t (E' LEGATO ALLA BANDA DEL CANALE E ALLE RISORSE ALLOCATE)
- 8. ~~Nota~~ Path Loss (Decadimento di Potenza)
- 9. Multipath Fading (Separazione del segnale in molteplici componenti)

DEFINIZIONE LUNGHEZZA D'ONDA

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

 $c = \text{VELOCITA' LUCE NEL MEZZO}$



LE DIVERSE CARATTERISTICHE DEL MEZZO TRASMISSIVO DETERMINA DIVERSE VELOCITA' DELLA LUCE NEL MEZZO c_i

DECADIMENTO DI POTENZA

LEGGE DI FRIS

$$P_{RX}(d) = P_{TX} G_{TX} G_{RX} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

$$\left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \text{FATTORE DI PERDITA (PATH LOSS)}$$

G_{TX} e G_{RX} = GUADAGNI ANTENNE IN TRASMISSIONE E RICEZIONE
RISPETTIVAMENTE

Nella legge di Fris il decadimento e' quadratico ma nella realta' si possono avere decadimenti piu' severi $\sim d^{-4}, d^{-5} \dots$

TIPOLOGIE DI ANTENNA

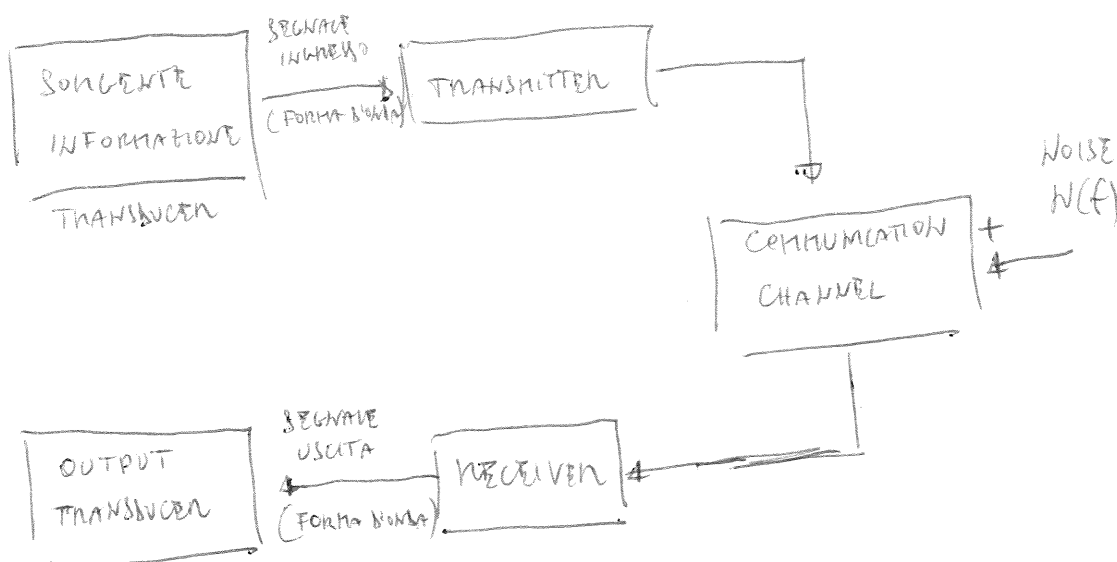
12

ANTENNE OMNIDIREZIONALI, ARRAY DI ANTENNE, ANTENNE STEERABLE,
ANTENNE PATCH, ANTENNE DI HORNE ETC.



DIVERSI GUADAGNI, DIVERSE DIMENSIONI, DIVERSE FREQ. SUPPORTATE
DIVERSI PATTERN DI RADIAZIONE

SISTEMA IN TRASMISSIONE (COMUNICAZIONE)



Quanti segnali possono essere inviati su un canale? (MULTIPLEXING)

Che distanza di comunicazione può essere supportata?

Quanto verrà degradata la comunicazione?



RAPPORTO SEGNALE / RUMORE $\left(\frac{S}{N} \right)_{dB}$

IMPORTANTE PER
VALUTARE LE PERFORMANCE
DEI SISTEMI DI COMUNICAZIONE
(CASO ANALOGICO)

Bit Error Rate (Tasso perdita bit) $(E_b)_{dB}$

NEL CASO DIGITALE