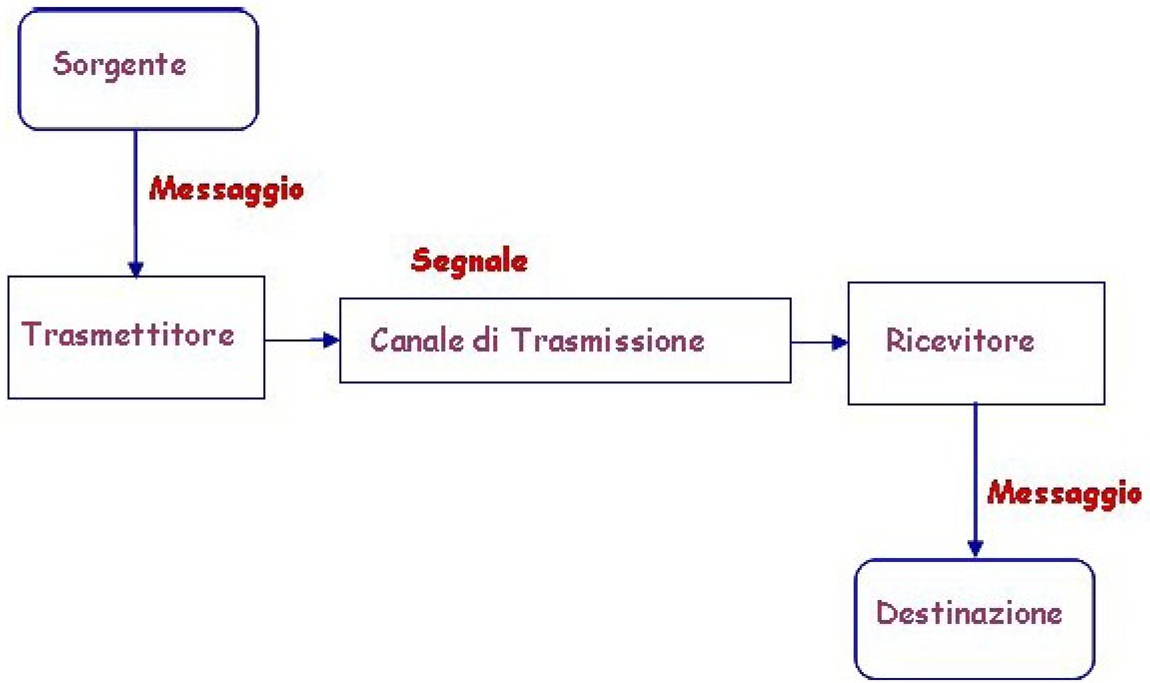
Concetti base sulla comunicazione

Telecomunicazione

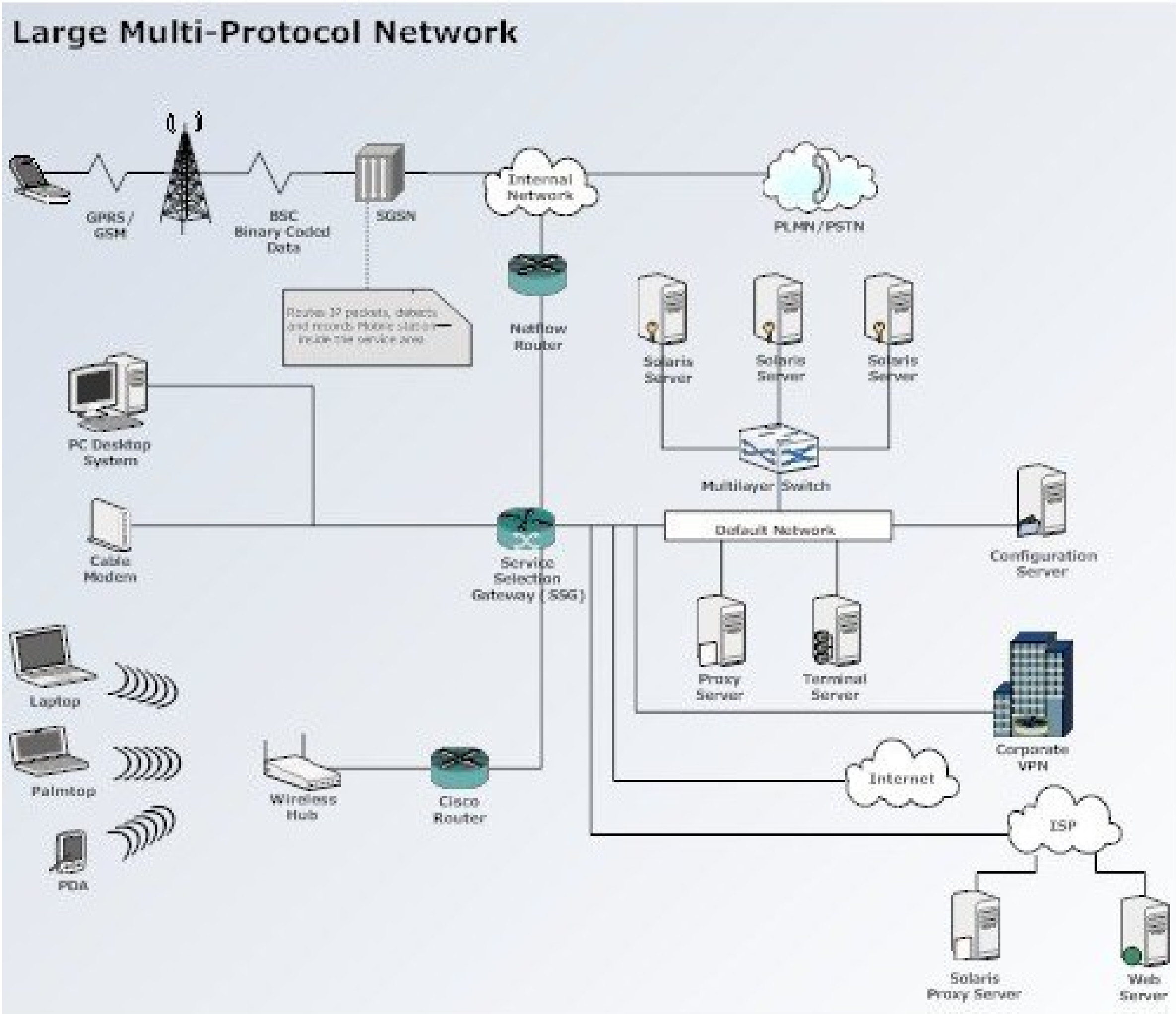
Trasferimento di un messaggio da un trasmettitore ad un ricevitore (comunicazione) posto ad una certa distanza (tele)



I componenti di una telecomunicazione sono:

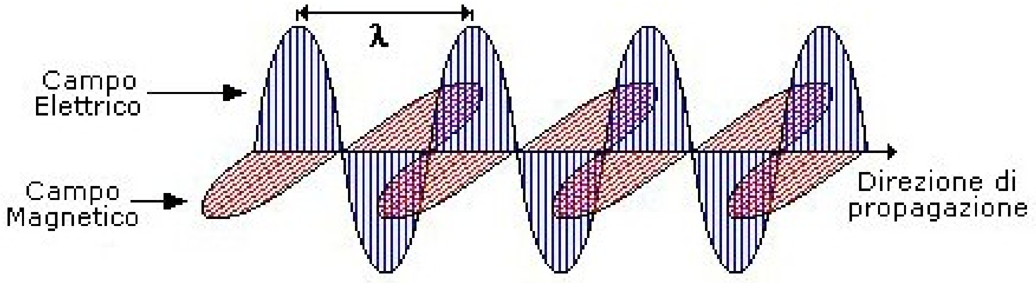
1. Sorgente messaggio: Invia il messaggio: voce, video, immagini, testi...
2. Trasmettitore : Codifica il messaggio in segnale e lo invia
3. Canale di trasmissione: Mezzo in cui viaggia il segnale
4. Ricevitore : Riceve il segnale e lo decodifica nel messaggio originale
5. Destinatario messaggio: Riceve il messaggio

Nelle reti di calcolatori il sorgente ed il destinatario sono due elaboratori collegati in rete. I segnali viaggiano attraverso una combinazione di dispositivi e collegamenti.



Schema di principio è semplice, ma la realtà molto più complessa.

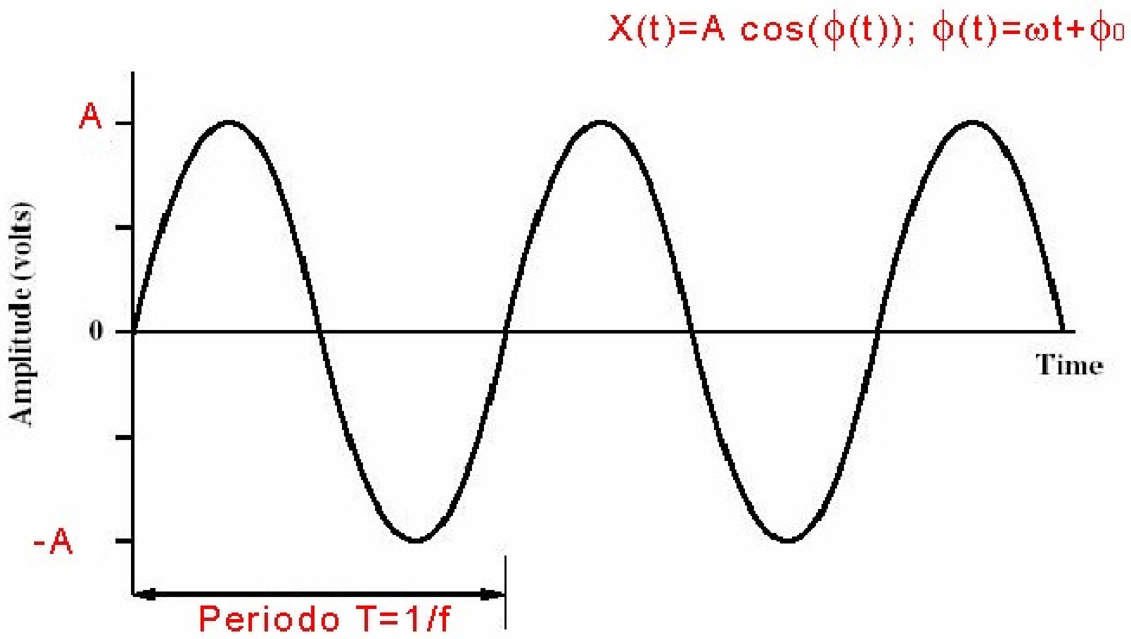
I messaggi/informazioni sono trasmessi attraverso segnali sotto forma di onde elettromagnetiche.



Il segnale può essere:

- Elettrico => conduttore di rame (doppino telefonico, cavo coassiale…)
- Luce => fibre ottiche
- Onde radio => etere

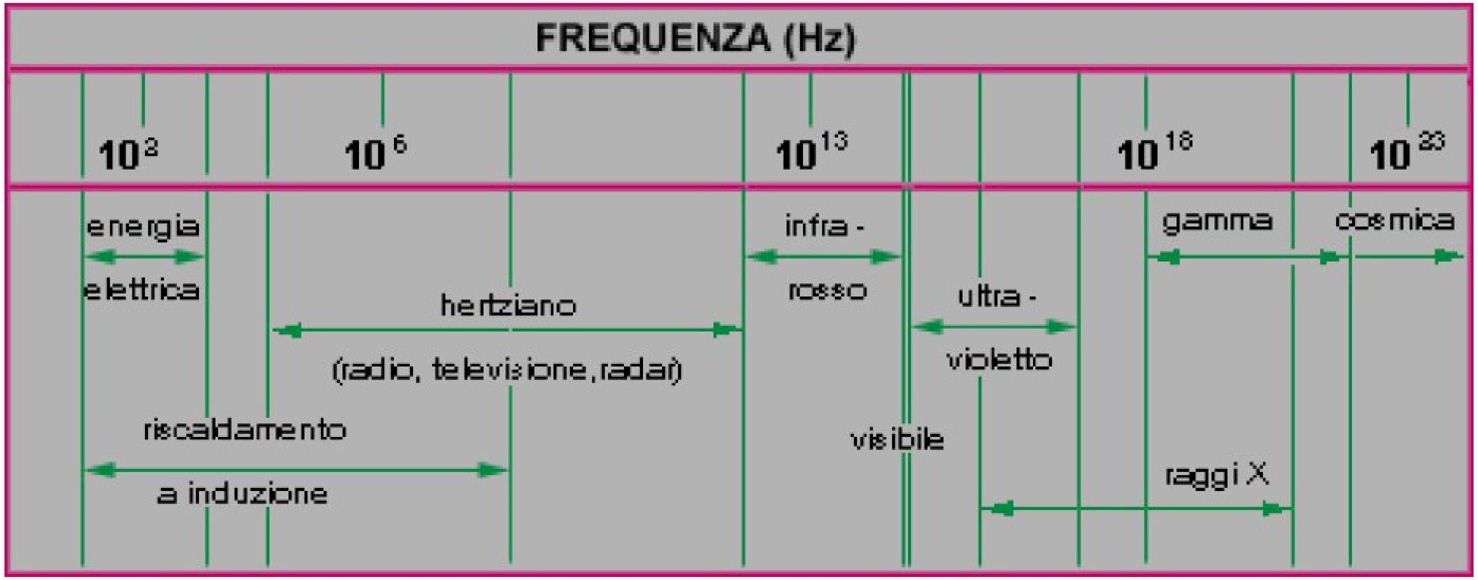
Il segnale deve essere periodico e questa forma d'onda varia nel tempo in termini della sua potenza (ampiezza dell'onda) e di acutezza o tono (frequenza dell'onda).



Quindi le caratteristiche di un'onda elettromagnetiche sono:

- A ampiezza: livello massimo del segnale

- ϕ fase: posizione del segnale ad un dato istante t
- T periodo: intervallo temporale della periodicità
- f frequenza: numero di onde per sec, inverso del periodo



Frequenze in Hz dei segnali

- 20 Hz minima frequenza udibile dall'uomo
- 261,625 Hz, acustica – la nota musicale DO centrale

- 440 Hz, acustica – Il LA usato per accordare gli strumenti musicali
- 740 kHz, – la velocità di clock del primo microprocessore l'Intel 4004 (1971)
- da88 a 108 MHz, elettromagnetismo – frequenza delle trasmissioni radio in FM, Subito oltre si trovano le frequenza VHF e UHF
- 460 THz, elettromagnetismo – frequenza della luce rossa
- 30 PHz, elettromagnetismo – Raggi X – Intensità luminosa

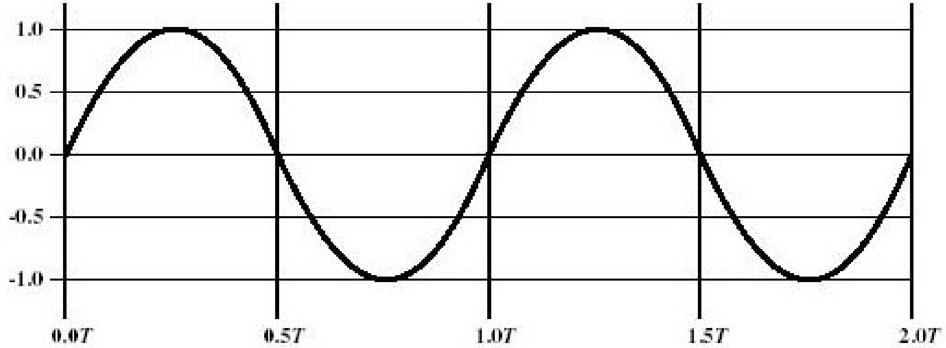
Se il canale trasmissivo è lineare vale il principio della sovrapposizione:

se $x_1(t) \Rightarrow y_1(t)$ e $x_2(t) \Rightarrow y_2(t)$ allora

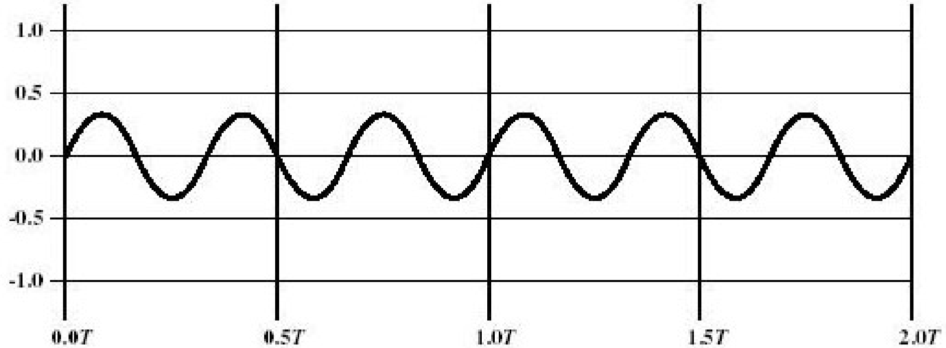
$$x_1(t)+x_2(t) \Rightarrow y_1(t)+ y_2(t)$$

Quindi la somma di onde sinusoidali le cui frequenze sono multipli di una di esse è ancora un segnale periodico ed:

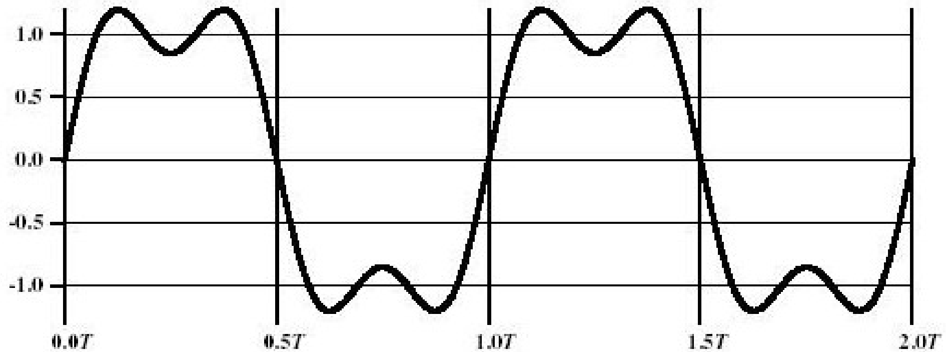
- La frequenza più bassa si chiama fondamentale
- La frequenza f_n si chiama armonica n-esima.
- La frequenza del segnale risultante è pari alla frequenza fondamentale



(a) $\sin(2\pi ft)$



(b) $(1/3)\sin(2\pi(3f)t)$



(c) $(4/\pi)\,[\sin(2\pi ft) + (1/3)\sin(2\pi(3f)t)]$

Analisi di Fourier

Ogni funzione periodica g(t) di periodo T può essere rappresentata come combinazione di un certo numero (eventualmente infinito) di funzioni seno e coseno attraverso una Serie di Fourier.

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \, sen(2\Pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\Pi nft)$$

dove $f = 1/T$ è la frequenza fondamentale della funzione, ed a_n e b_n sono le ampiezze seno e coseno delle n-sima armonica.

La funzione g(t) può essere approssimata considerando solo alcuni elementi della serie ossia considerando solo alcune frequenze.

Le ampiezze a_n possono essere calcolate moltiplicando entrambi i membri dell'equazione per sen(2πkft) e integrando tra 0 e T:

$$g(t)=\frac{1}{2}c+\sum_{n=1}^{\infty} a_n sen(2\Pi nft)+\sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\Pi nft)$$

$$\int_0^T g(t) sen(2\Pi kft)dt=\int_0^T \frac{1}{2}c\cdot sen(2\Pi kft)dt+\sum_{n=1}^{\infty} a_n\int_0^T sen(2\Pi nft)\cdot sen(2\Pi kft)dt$$

$$+\sum_{n=1}^{\infty} b_n\int_0^T \cos(2\Pi nft)\cdot sen(2\Pi kft)dt$$

$$\int_0^T \frac{1}{2}c\cdot sen(2\Pi kft)dt=\left[-\frac{1}{2}c\cdot\cos(2\Pi kft)\cdot\frac{1}{2\Pi kf}\right]_0^T=$$

$$\left[-\frac{1}{2}c\cdot\cos(0)\cdot\frac{1}{2\Pi kf}+\frac{1}{2}c\cdot\cos(2\Pi k\frac{1}{T}T)\cdot\frac{1}{2\Pi kf}\right]=$$

$$-\frac{1}{2}c\cdot\frac{1}{2\Pi kf}+\frac{1}{2}c\cdot\frac{1}{2\Pi kf}=0$$

quindi primo membro=0, consideriamo il terzo membro

$$\sum_{n=1}^{\infty} b_n\int_0^T \cos(2\Pi nft)\cdot sen(2\Pi kft)dt$$

per le formule di Werner

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

$$\int\cos(mx)\cdot sen(nx)=\frac{1}{2}\int sen((m-n)x)dx+\frac{1}{2}\int sen((m+n)x)dx=$$

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{\cos((m-n)x)}{m-n}-\frac{1}{2}\cdot\frac{sen((m+n)x)}{m+n}$$

quindi

$$b_n\int_0^T\cos(2\Pi nft)\cdot sen(2\Pi kft)dt=$$

$$\frac{1}{2}\left[\frac{\cos((n-k)2\Pi ft)}{n-k}+\frac{\cos((n+k)2\Pi ft)}{n+k}\right]_0^T=$$

$$\frac{1}{2}\left[\frac{\cos((n-k)2\Pi)}{n-k}+\frac{\cos((n+k)2\Pi)}{n+k}-\frac{\cos(0)}{n-k}-\frac{\cos(0)}{n+k}\right]=$$

$$\frac{1}{2}\left[\frac{1}{n-k}+\frac{1}{n+k}-\frac{1}{n-k}-\frac{1}{n+k}\right]=0$$

quindi il terzo membro=0, troviamo il secondo membro.

Se k=n allora

$$a_k \int_0^T sen(2\Pi kft) \cdot sen(2\Pi kft)\, dt = a_k \int_0^T sen^2(2\Pi kft)\, dt$$

$$ma \int sen^2(x)\, dx = -\frac{sen(x)\cos(x)}{2} + \frac{x}{2}$$

$$poichè \quad sen(2x) = 2\, sen(x)\cos(x)$$

$$\int sen^2(x)\, dx = -\frac{sen(2x)}{4} + \frac{x}{2}$$

$$ponendo \quad x = 2\Pi kft \rightarrow t = \frac{x}{2\Pi kf}, dx = 2\Pi kf dt, dt = \frac{dx}{2\Pi kf},$$

$$quando\ t = T \rightarrow x = 2\Pi kfT = 2\Pi k$$

$$a_k \int_0^T sen^2(2\Pi kft)\, dt = \frac{a_k}{2\Pi kf} \int_0^{2\Pi k} sen^2(x)\, dx = \frac{a_k}{2\Pi kf} \left[\frac{x}{2} - \frac{sen(2x)}{4}\right]_0^{2\Pi k} =$$

$$\frac{a_k}{2\Pi kf} \left[\frac{2\Pi k}{2} - \frac{sen(4\Pi k)}{4} - \frac{0}{2} + \frac{sen(0)}{4}\right] = \frac{a_k}{2\Pi kf} \Pi k = \frac{1}{2} a_k T$$

quindi se k=n

$$a_k \int_0^T sen^2(2\Pi kft)\, dt = \frac{1}{2} a_k T$$

se k!=n allora

sempre per le formule di Werner

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

$$\int sen(mx)\cdot sen(nx)dx=\frac{1}{2}\int \cos((m-n)x)dx-\frac{1}{2}\int \cos((m+n)x)dx=$$

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{sen((m-n)x)}{m-n}-\frac{1}{2}\cdot\frac{sen((m+n)x)}{m+n}$$

Poniamo x=2πkft → dx=dt

$$a_n\int_0^T sen(2\Pi nft)\cdot sen(2\Pi kft)dt=\frac{a_n}{2\Pi f}\int_0^{2\Pi} sen(nx)\cdot sen(kx)dx=$$

$$\frac{a_n}{2\Pi f}\left[\frac{1}{2}\cdot\frac{sen((n-k)x)}{n-k}-\frac{1}{2}\cdot\frac{sen((n+k)x)}{n+k}\right]_0^{2\Pi}=$$

$$\frac{a_n}{2\Pi f}\left[\frac{1}{2}\frac{sen((n-k)2\Pi)}{n-k}-\frac{1}{2}\frac{sen((n+k)2\Pi)}{n+k}-\frac{1}{2}\frac{sen(0)}{n-k}-\frac{1}{2}\frac{sen(0)}{n+k}\right]=0$$

quindi

$$\int_0^T sen(2\Pi nft)\cdot sen(2\Pi kft)dt=\begin{Bmatrix}0 & k\neq n\\ T2 & k=n\end{Bmatrix}$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n\int_0^T sen(2\Pi nft)\cdot sen(2\Pi kft)dt=a_k\frac{T}{2}$$

Concludendo

$$\int_0^T g(t)\, sen(2\Pi kft)\, dt = \int_0^T \frac{1}{2} c \cdot sen(2\Pi kft)\, dt + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \int_0^T sen(2\Pi nft) \cdot sen(2\Pi kft)\, dt$$

$$+ \sum_{n=1}^{\infty} b_n \int_0^T \cos(2\Pi nft) \cdot sen(2\Pi kft)\, dt = \frac{T}{2} a_k$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T g(t)\, sen(2\Pi kft)\, dt$$

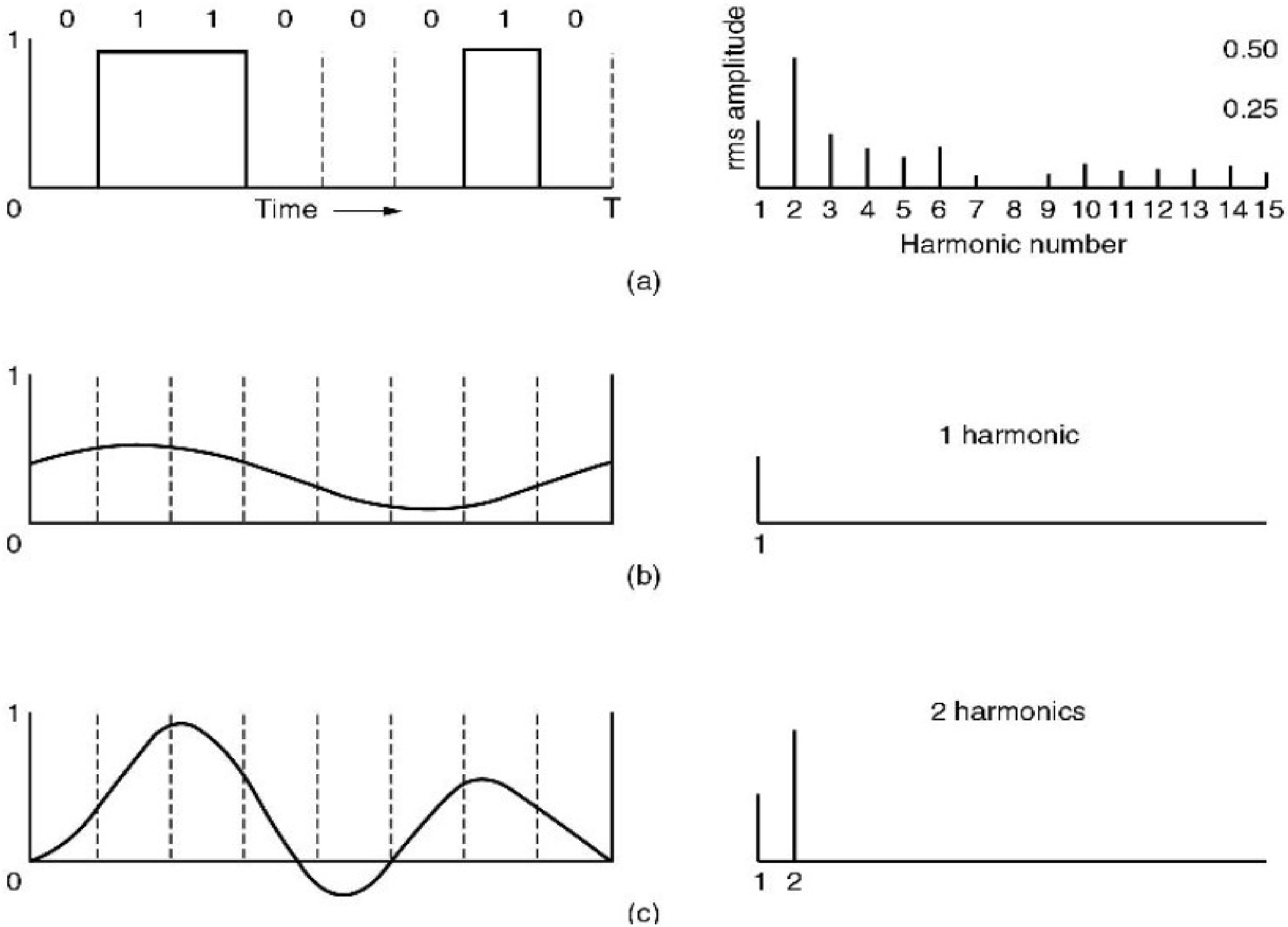
Analogamente le ampiezze b_n si calcolano moltiplicando per $\cos(2\pi kft)$ e integrando tra 0 e T.

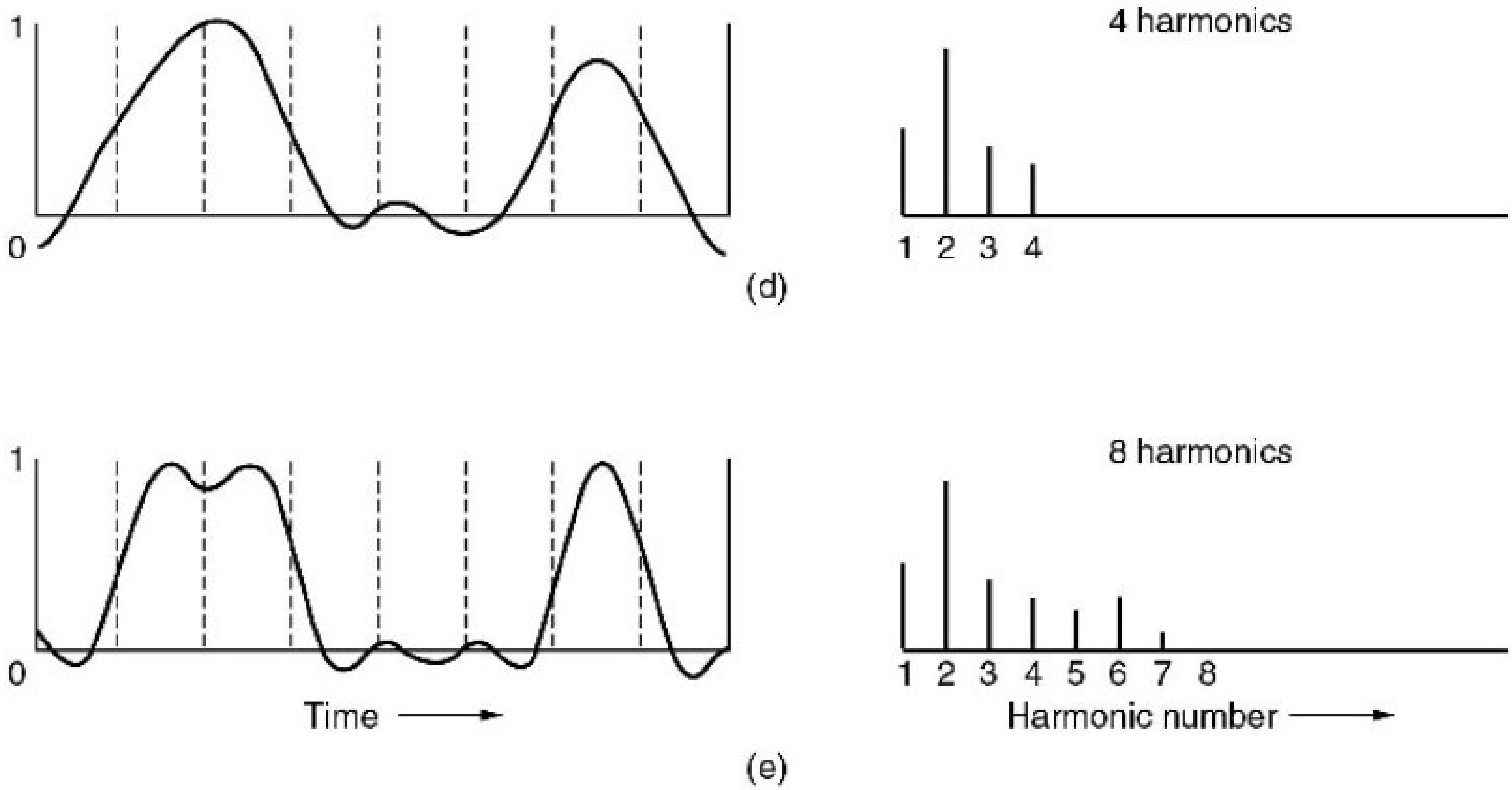
$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\Pi kft)\, dt \qquad c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t)\, dt$$

Un segnale dati ha una durata finita e può essere trattato come un segnale che ripete l'intero andamento per sempre, quindi come una funzione periodica.

Il segnale rappresentato come una funzione g(t) può essere approssimata considerando solo alcuni elementi della serie di Fourier, ossia considerando solo alcune frequenze, o armoniche.

Se si trasmette un carattere ‘b' codificato come ‘01100010', il segnale sarà così trasmesso:


0 1 1 0 0 0 1 0
1
0
Time
T
rms amplitude
0.50
0.25
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
Harmonic number
(a)
1
0
1 harmonic
1
(b)
1
0
2 harmonics
1 2
(c)



In figura oltre il segnale viene rappresentato il valore quadratico medio delle ampiezza per approssimazioni successive calcolato con la formula MSE= $\sqrt{a^2+b^2}$.

Caratteristiche di un canale trasmissivo

Un canale o circuito è una connessione logica su un collegamento fisico che consente la trasmissione di una singola conversazione.

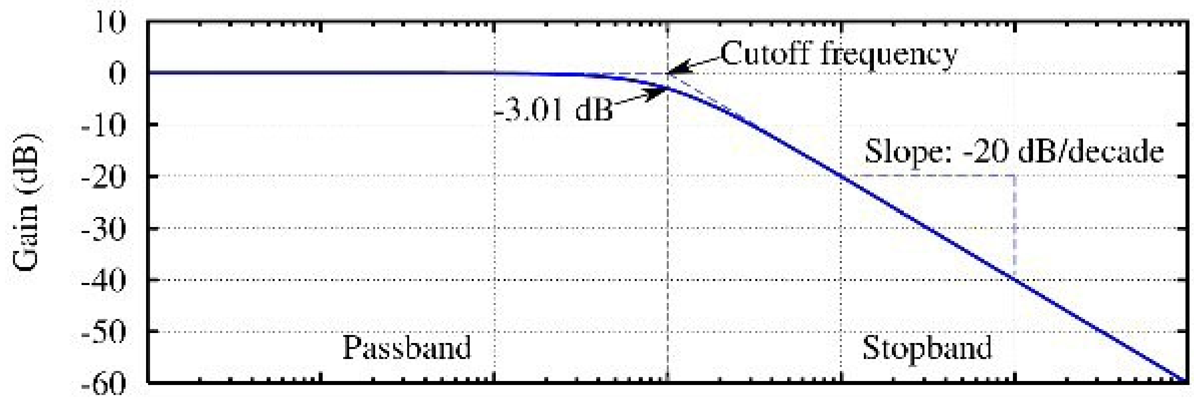
La scomposizione di un segnale mediante l'analisi di Fourier rende possibile studiare le proprietà trasmissive del canale per il segnale in termini di

- attenuazione
- variazione di fase

che subiscono le onde alle diverse frequenze quando passano attraverso il canale.

I canali utilizzati nella trasmissione dei segnali elettrici solitamente si comportano in modo lineare e l'analisi di Fourier può essere applicata ad essi.

Nessun mezzo trasmissivo può trasmettere dei segnali senza perdere una certa potenza. Il mezzo riduce le varie ampiezze e quindi le diverse componenti della serie di Fourier in misura diversa. Di solito le ampiezze sono trasmesse senza sostanziali riduzioni da 0 fino ad una frequenza f_c detta di taglio che determina la larghezza di banda (bandwidth) del canale.



Se la larghezza di banda è così bassa da fare passare solo le frequenze più basse, è come se la funzione del segnale fosse approssimata ai primi termini della serie di Fourier.

Ricordiamo che le unità di misura utilizzate per misurare la larghezza di banda sono gli hertz, Baud e Bps.

L' hertz è l'unità di misura della larghezza di banda nei circuiti analogici e rappresenta il numero di oscillazioni di un segnale periodico in un secondo.

Il Baud di un mezzo di trasmissione, rappresenta la velocità di segnalazione ossia il numero di cambiamenti del segnale (ad es. il suo voltaggio) al secondo.

Il Bps (bits per second) misura la larghezza di banda nei circuiti digitali e rappresenta il numero di bit trasmessi in un secondo.

Una linea a **b** Baud non trasmette necessariamente **b** bit al secondo poiché ciascun segnale potrebbe trasportare più bit.

Ad esempio se in una linea si utilizzano le tensioni da 0 a 7, ogni segnale può trasportare 3 bit alla volta, se i livelli del segnale sono solo due (0 e 1), Baud e bps coincidono.

La larghezza di banda può essere suddivisi in tre livelli:

Banda Stretta Un canale da 64Kbps o un insieme di N canali da 64Kbps (N x 64Kbps)

Banda Larga Un canale di capacità compresa tra 1,544 Mbps(T-1) e 45 Mbps(T-3) in base agli standard USA e tra 2,048 Mbps(E-1) e 34 bps(E-3) in base agli standard Europei

Banda Estesa Un canale che supera o eguaglia il limite superiore della banda larga.

La formula di Nyquist ci da la massima velocità di trasferimento dei dati su di un canale privo di rumore

Max Vc= 2H log 2 V bps con

H larghezza di banda del canale

V numero di livelli discreti del segnale.

In un canale senza rumore di 3,3 KHz (vocale) binario (0 1)

Max Vc = 2H = 6600 bps

In presenza di un rumore la situazione si deteriora rapidamente. Il rumore di un mezzo viene espresso come rapporto tra il segnale e il rumore S/N.

$10 \log_{10}(S/N)$ (decibel)

La massima velocità di trasferimento dei dati su di un canale con rumore casuale può essere calcolata mediante la formula di Shannon

Max Vc= H log 2 (1+S/N) bps

con H larghezza di banda del canale. In un canale con banda di 3,3 KHz (vocale) e con un livello di rumore di 30 dB

Max Vc = 3000 log 2 ($1+10^3$)= circa 24.000 bps.

Questo limite è comunque da ritenersi puramente teorico!!!

Data una velocità di n bps (*b*it al secondo) il tempo richiesto per inviare un byte sarà 8/n s, e la frequenza della prima armonica sarà la sua inversa ossia n/8 Hz.

Se consideriamo un mezzo che abbia una frequenza di taglio di QHz significa che l'armonica più alta che riesce a passare è 8Q/n .

Ad esempio per una linea vocale la cui *fc* =3KHz l'armonica più alta che riesce a passare è circa 24000/n.

La seguente tabella si riferisce ad alcune velocità d'impiego comune per *fc* =3KHz ed *fc* =4KHz.

BPS	T(ms)	Prima Armonica (hz)	N° armoniche inviate f=3kHZ	N° armoniche inviate f=4kHz
n	(8/n)*100	n/8	24000/n	32000/n
300	26.67	37.5	80	106
600	13.33	75	40	53
1200	6.67	150	20	27
2400	3.33	300	10	13
4800	1.67	600	5	7
9600	0.83	1200	2	3
19200	0.42	2400	1	1
38400	0.21	4800	0	0