

Instituto Tecnológico de San Luís Potosí

Centro de Telecomunicaciones

Teleproceso y Redes de Computadoras
Señales Eléctricas

Fís. Jorge Humberto Olivares Vázquez
Centro de Telecomunicaciones
Enero 2007

1.0 Señales Eléctricas

Contenido:

1.0 Señales Eléctricas

1.1 Introducción

1.2 Señales Analógicas

1.3 Señales Discretas

1.3.1 Definición

1.3.2 Señales Discretas Periódicas

1.3.3 Ventajas de las Señales Discretas

1.3.4 Desventajas de las Señales Discretas

1.4 Digitalización

1.5 Compresión

1.0 Señales Eléctricas

1.1 Introducción

Una *señal* es un símbolo, ademán o gesto, u otro tipo de manifestación que contiene información. Una señal es utilizada para representar lo que se dice por medio de la palabra escrita o el lenguaje.

Cuando se trata de símbolos, las señales están colocadas en lugares visibles y están realizadas normalmente en diversos colores y formas. En el caso de ademanes o gestos, son hechos por las personas utilizando cara, manos y brazos. También se utilizan banderas, semáforos u otros dispositivos para el envío de mensajes, control de tráfico, etc.

Una señal obedece reglas o convenciones preestablecidas, por lo que deben ser fácilmente interpretadas.

Así mismo, una señal puede ser consistir también en una variación de corriente eléctrica, de voltaje u otra magnitud física utilizada para transmitir información.

Una señal obedece reglas o convenciones preestablecidas, por lo que deben ser fácilmente interpretadas.

Una señal eléctrica es una función voltaje $V(t)$, o una función intensidad de corriente $i(t)$, variables en el tiempo. Estas variaciones son utilizadas para transmitir información.

Las señales eléctricas pueden ser:

Analógicas

Discretas

1.2 Señales Analógicas

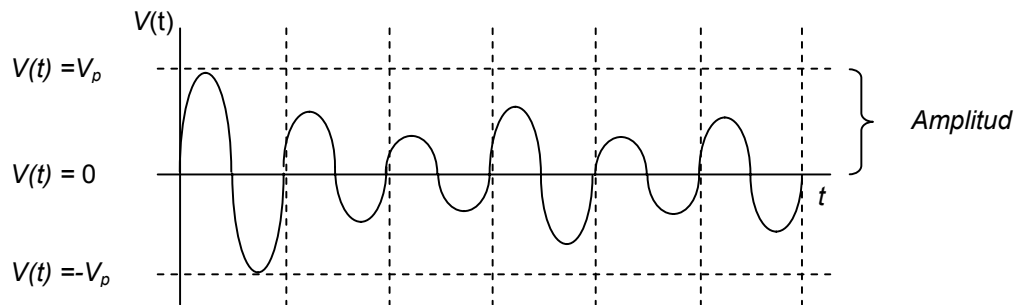
Una *señal analógica* es una *señal eléctrica continua en el tiempo*, esto es, una función $V(t)$, en la que, a cada valor de t , dentro del intervalo.

$$0 < t < \infty$$

le corresponde un valor definido $V(t)$, en el intervalo.

$$-V_p \leq V(t) \leq V_p$$

La variación máxima de $V(t)$ por arriba o por debajo de una referencia de 0 volts, se le llama *Amplitud de la Señal*.



Por la definición anterior, el valor

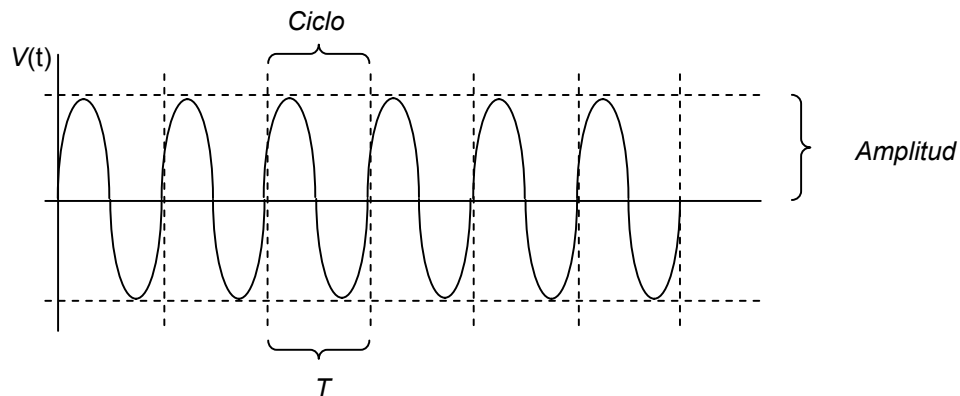
$$|V_p|$$

representa la *amplitud de la señal*.

Las señales eléctricas analógicas son idóneas para la representación y transmisión de señales de audio y video.

1.2.1 Señales Analógicas Periódicas

Una de las formas más comunes de señal analógica es la función senoidal armónica simple. Esto es, si en una señal eléctrica continua, las variaciones de $V(t)$ se repiten regularmente cada intervalo de tiempo T , la señal es llamada *Periódica*, a T se le denomina *Período de la Señal* y a las variaciones repetidas se les denomina *Ciclos u Oscilaciones*.



La unidad de T es el Segundo, y la unidad de medida es el *Segundo*

$$[T] = \text{Segundo}$$

En telecomunicaciones, el segundo es una cantidad de tiempo grande para medir el *periodo* de las señales, por esta razón, se utilizan submúltiplos del segundo tales como:

1 milisegundo	=	1ms	= 10^{-3}	segundos
1 microsegundo	=	1 μ s	= 10^{-6}	segundos
1 nanosegundo	=	1ns	= 10^{-9}	segundos
1 picosegundo	=	1ps	= 10^{-12}	segundos

La *Frecuencia F*, de una señal eléctrica se define como el número de veces que se repite una oscilación (*ciclo*) en la unidad de tiempo.

De la definición de frecuencia se deduce que, si un ciclo de señal tiene una duración de T segundos, entonces

$$F = \frac{1}{T}$$

Las unidades en que se mide la frecuencia son

$$[F] = \frac{[1]}{[T]} = \frac{\text{ciclo}}{\text{seg}} = \frac{1}{\text{seg}} = \text{seg}^{-1} = \text{Hertz}$$

El Hertz es una medida demasiado pequeña para las frecuencias que actualmente se utilizan en telecomunicaciones, de aquí que se sugiera el uso de algunos múltiplos, como:

1 Kilohertz	=	1 KHz	= 10^3	Hertz
1 MegaHertz	=	1 MHz	= 10^6	Hertz
1 GigaHertz	=	1 GHz	= 10^9	Hertz
1 TeraHertz	=	1 THz	= 10^{12}	Hertz

Una señal eléctrica continua periódica tiene la forma

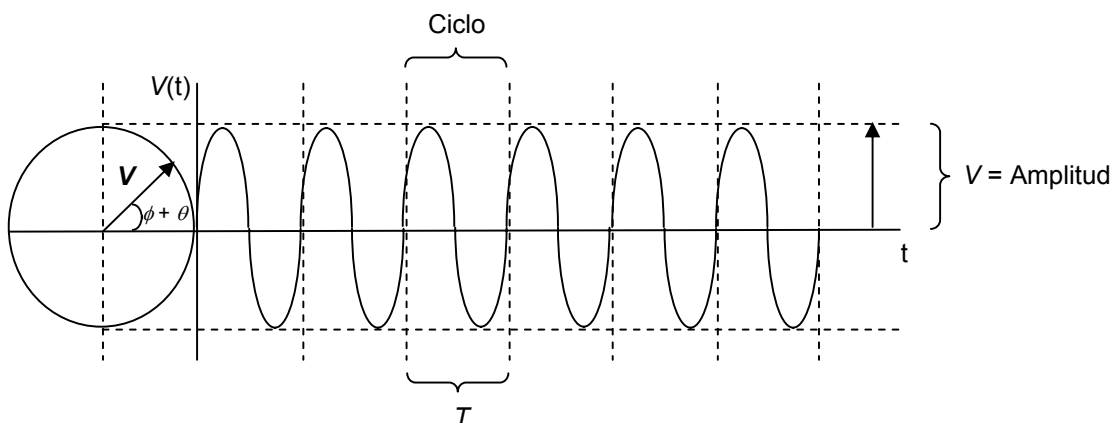
$$V(t) = V_p \text{sen}(\phi + \theta) \quad (1)$$

donde:

V_p = Amplitud de la Señal

ϕ = Angulo de Fase de la Señal

θ = Angulo de Fase Inicial



Esta señal se puede considerar generada por el movimiento circular desplazado de un radio vector V_p . Considerando que el movimiento del radio vector V_p es uniforme, su velocidad angular ω es constante, por lo que se puede expresar como

$$\omega = \frac{\phi}{t} \quad (2)$$

donde:

ω = Velocidad Angular del Radio Vector V_p

t = Tiempo requerido para generar el ángulo ϕ

Si el ángulo ϕ está dado en radianes y t en segundos, entonces, las unidades de ω son:

$$[\omega] = \frac{[\phi]}{[t]} = \frac{\text{Radianes}}{\text{Segundo}} = \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

En un giro completo del radio vector V_p , se habrá completado un ciclo de señal, generando el radio vector un ángulo de 2π radianes (360°), en un tiempo $t = T$ segundos (en un *periodo*), esto es,

$$\omega = \frac{\phi}{t} = \frac{2\pi}{T}$$

o bien

$$\omega = \frac{\phi}{t} = 2\pi\left(\frac{1}{T}\right)$$

$$\omega = \frac{\phi}{t} = 2\pi F \quad (3)$$

La ecuación (2) se puede escribir como

$$\phi = \omega t$$

Sustituyendo el valor de ϕ en la ecuación (1), se obtiene

$$V(t) = V_p \text{sen}(\omega t + \theta) \quad (4)$$

ω también es llamada *Frecuencia Angular* de la señal.

Considérese la ecuación (4) en un tiempo inicial $t = 0$,

Si $t = 0$

$$\omega t = 0$$

y

$$\omega t + \theta = \theta$$

Por lo que

$$V(t) = V_p \text{sen} \theta \quad (5)$$

Esto quiere decir que, el valor de la función en $t = 0$ dependerá del valor del ángulo de fase inicial.

Considérese ahora el caso en el que

$$\theta = 0$$

$$t = 0$$

se tendrá que

$$\omega t = 0$$

$$\omega t + \theta = 0$$

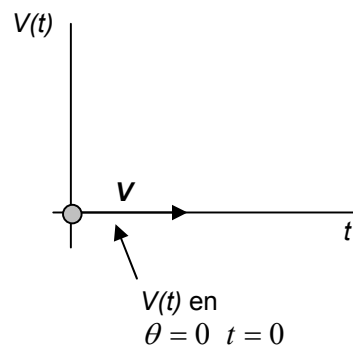
$$\text{sen}(\omega t + \theta) = 0$$

por lo que

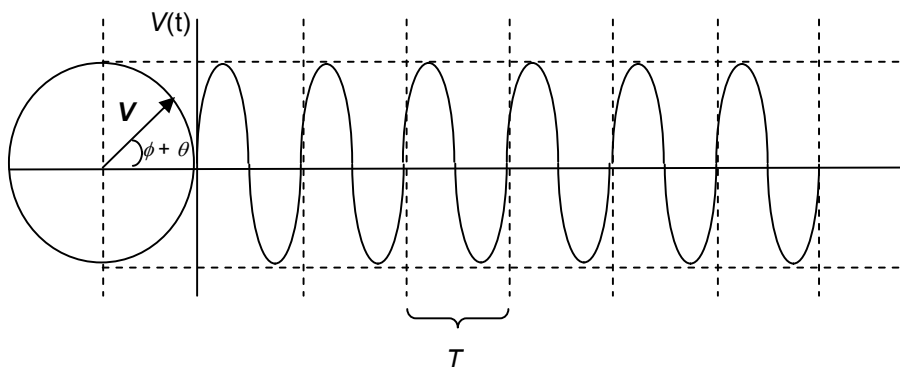
$$V(t) = V_p \text{sen}(\omega t + \theta)$$

toma el valor

$$V(0) = 0$$



Esto significa que si se parte de esta condición se tendrá una señal generada como la siguiente



Considérese ahora el caso en el que

$$\theta = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$$

y

$$t = 0$$

se tendrá que

$$\omega t = 0$$

$$\omega t + \theta = \frac{\pi}{2}$$

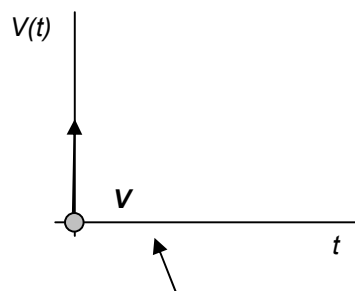
$$\text{sen}(\omega t + \theta) = \text{sen} \frac{\pi}{2} = 1$$

por lo que

$$V(t) = V_p \text{sen}(\omega t + \theta)$$

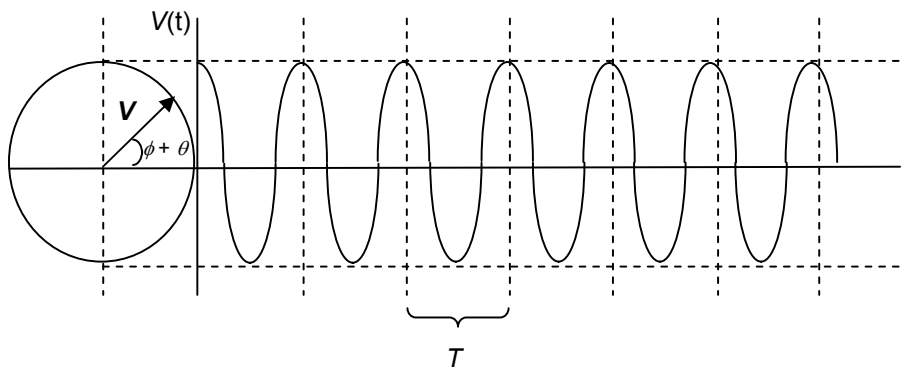
toma el valor

$$V(0) = V_p$$



$V(t)$ en
 $\theta = \frac{\pi}{2}$ $t = 0$

Esto significa que si se parte de esta condición se tendrá una señal generada como la siguiente



En telecomunicaciones, las señales eléctricas continuas periódicas de frecuencias predeterminadas, son utilizadas como señales portadoras.

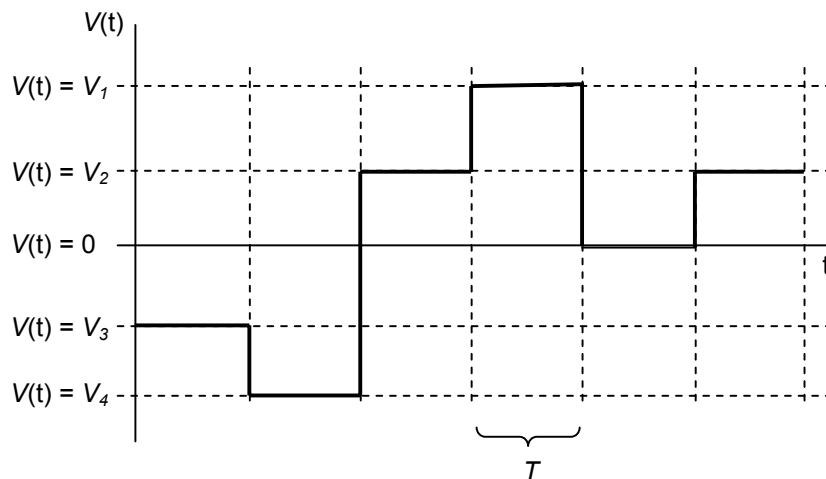
Como las señales continuas definen un rango infinito de valores para $V(t)$, estas son utilizadas para transmitir señales de audio y video.

Por lo anterior, las señales que utilizan una forma continua de voltaje $V(t)$ para representarse, son llamadas Señales Analógicas.

1.3 Señales Discretas

1.3.1 Definición y Clasificación de las Señales Discretas

Una Señal Eléctrica Discreta es una función $V(t)$ continua en el tiempo que puede tomar sólo un conjunto finito de valores: $V_1, V_2, V_3, V_4, \dots, V_n$



Cuando la función $V(t)$ cambia de un valor a otro se dice que tiene una *Transición*.

Los niveles de voltaje V_n , las transiciones, o combinación de ellos, se utilizan para la representación eléctrica de bits.

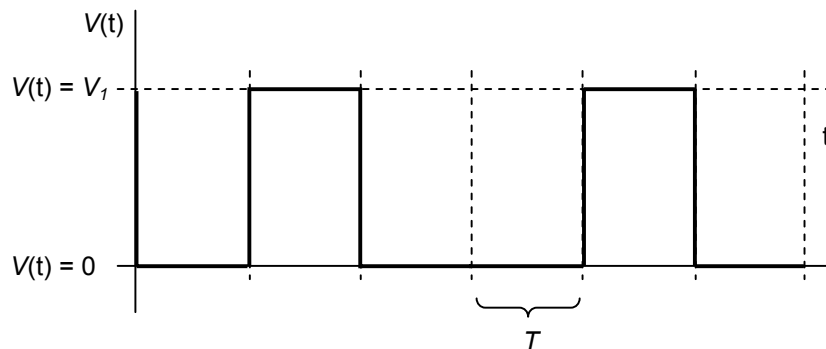
Señales Multinivel

Cuando una señal discreta $V(t)$, toma más de dos valores, se le llama *señal multinivel*.

La figura anterior representa un ejemplo de *señal discreta multinivel*.

Señales Digital

Cuando una señal discreta $V(t)$, toma solo dos valores, se le llama *señal digital*.

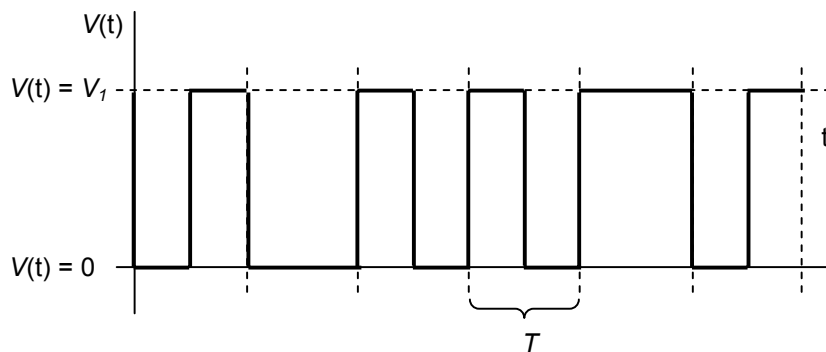


En las señales digitales, se le llama *Período*, a la duración de la representación eléctrica de un bit.

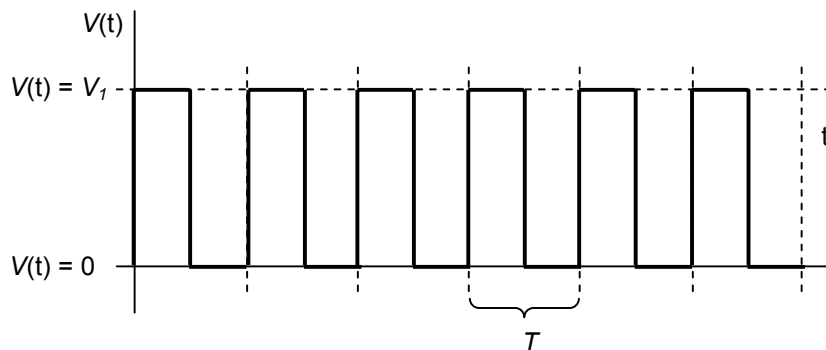
En sistemas digitales, se utiliza una lógica de dos estados representados por dos niveles de tensión, uno alto, H (*High*) y otro bajo, L (*Low*). Por abstracción, dichos estados se sustituyen por ceros y unos, lo que facilita la aplicación de la lógica y la aritmética binaria.

Si el nivel alto se representa por 1 y el bajo por 0, se habla de *lógica positiva* y en caso contrario de *lógica negativa*.

Cabe mencionar que además de los niveles, en una *señal digital*, están las *transiciones* de un nivel alto a un nivel bajo o viceversa. En algunos sistemas se utilizan ambos recursos para la representación de bits, dando lugar a formas de onda más complejas. En la siguiente figura se muestra una *señal digital* donde se identifican los niveles y las transiciones en un mismo periodo de bit.



Si en este tipo particular de forma de onda, los ciclos se repiten, se tendrá una *señal digital periódica*, como la mostrada en la figura (abajo).



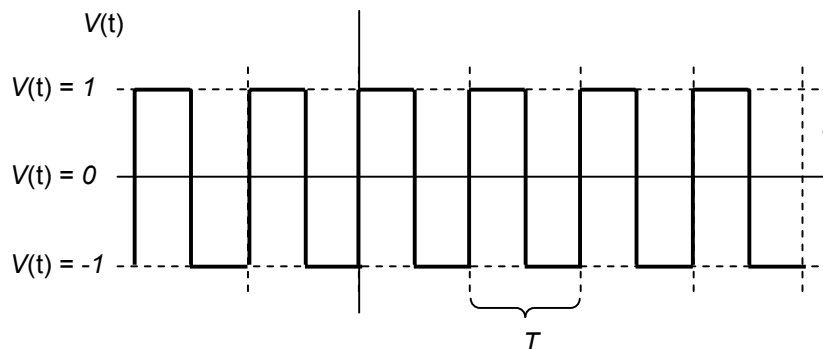
Si el *periodo de la señal* es T , entonces, su *frecuencia* es:

$$F = \frac{1}{T}$$

Para este tipo de señales, los conceptos de amplitud, frecuencia y periodo, tienen el mismo significado.

1.3.2 Señales Discretas Periódicas

Un caso más general de *señal digital periódica*, es el de la forma de onda conocida como *función de onda cuadrada*, mostrada en la figura siguiente:



Como se puede ver de la figura, la señal cumple con las siguientes proposiciones:

$$V(t) = \begin{cases} 1 & \text{para : } 0 < t < T/2 \\ -1 & \text{para : } T/2 < t < T \end{cases} \quad (6)$$

Además de la definición por medio de proposiciones, como la anterior, una función discreta $V(t)$, no tiene una forma matemática simple, normalmente son desarrollos en Series.

Esta función puede definirse por medio de una representación en Serie de Fourier si cumple con las condiciones: (*Condiciones de Dirichlet*)

La función $V(t)$ debe ser periódica de periodo T .

La función $V(t)$ debe ser de valor simple.

La función $V(t)$ debe estar definida en el intervalo de integración.

La función $V(t)$ y sus derivadas deben ser seccionalmente continuas en el intervalo de integración.

Toda función que cumpla con las condiciones anteriores admite ser representada por una serie de la forma:

$$V(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{n=\infty} [a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)] \quad (7)$$

donde, n es un entero positivo, y

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} V(t) dt \quad n = 0 \quad (8)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} V(t)(\cos n\omega t) dt \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (9)$$

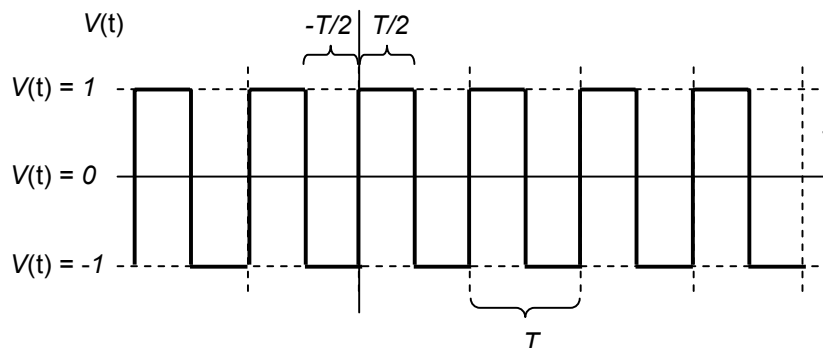
$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} V(t)(\sin n\omega t) dt \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (10)$$

Donde los coeficientes a_0 , a_n y b_n son llamados *coeficientes de la serie*.

Para representar la señal digital periódica en términos de una Serie de Fourier, se calculan primero los *coeficientes de la serie*.

Para calcular el coeficiente a_0 se emplea la ecuación (8),

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} V(t) dt = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^0 V(t) dt + \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} V(t) dt$$



$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} V(t) dt = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^0 (-1) dt + \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} (1) dt$$

$$a_0 = 0$$

Similantemente, para calcular el coeficiente a_n se emplea la ecuación (9),

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} V(t) \cos(n\omega t) dt = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^0 (-1) \cos(n\omega t) dt + \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} (1) \cos(n\omega t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} V(t) \cos(n\omega t) dt = -\frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^0 \cos(n\omega t) dt + \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} \cos(n\omega t) dt$$

$$a_n = 0 \quad \forall n = 1, 2, 3, \dots,$$

Finalmente, para calcular el coeficiente b_n se emplea la ecuación (10),

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} V(t) \sin(n\omega t) dt = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^0 (-1) \sin(n\omega t) dt + \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} (1) \sin(n\omega t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} V(t) \sin(n\omega t) dt = -\frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^0 \sin(n\omega t) dt + \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} \sin(n\omega t) dt$$

Integrando, se obtiene:

$$b_n = \frac{2}{n\pi} (1 - \cos n\pi)$$

Para b_n par, se tiene que

$$b_n = 0$$

Para b_n impar, se tiene que

$$b_n = \frac{4}{n\pi}$$

Sustituyendo el valor de los coeficientes $a_0 = 0$ y $a_n = 0$ en la ecuación

$$V(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)]$$

la ecuación se reduce a

$$V(t) = \sum_{n=1}^{n=\infty} [b_n \text{sen}(n\omega t)]$$

sustituyendo el valor de b_n

$$V(t) = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{4}{n\pi} [\text{sen}(n\omega t)]$$

o bien,

$$V(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n} [\text{sen}(n\omega t)]$$

Desarrollando la serie se tiene

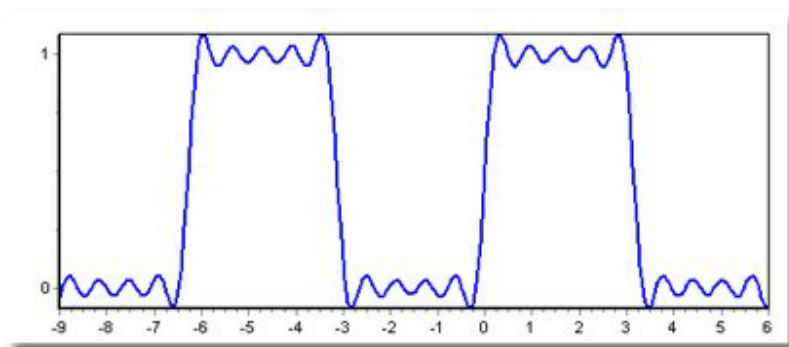
$$V(t) = \frac{4}{\pi} \left[\text{sen}(\omega t) + \frac{1}{3} \text{sen}(3\omega t) + \frac{1}{5} \text{sen}(5\omega t) + \cdots + \frac{1}{n} \text{sen}(n\omega t) \right]$$

El resultado anterior establece que la *señal periódica de onda cuadrada* se puede expresar como la suma infinita de funciones senoidales, todas de diferente frecuencia. A cada una de estas funciones senoidales se les denomina *Armónica*.

Se observa gráficamente en la figura, donde se ha representado la forma de onda obtenida a partir de la siguiente función:

$$V(t) = \frac{4}{\pi} \left[\text{sen}(\omega t) + \frac{1}{3} \text{sen}(3\omega t) + \frac{1}{5} \text{sen}(5\omega t) + \frac{1}{7} \text{sen}(7\omega t) \right]$$

que corresponde a sólo 4 términos de la serie que aproxima una onda cuadrada.



Esta aproximación será mas precisa entre mas términos de la serie se consideren.

Como ya se comentó, en comunicación de datos se utiliza un sistema binario de símbolos (ceros y unos), entonces las señales discretas que definen dos o mas estados eléctricos de $V(t)$, son adecuadas para representar niveles lógicos digitales (Ceros y Unos). El estudio de esta representación se estudia en Códigos de Línea.

1.3.3 Ventajas de la señal discreta

La señal digital es menos sensible que la analógica a las interferencias electromagnéticas.

Ante la pérdida de cierta cantidad de información, la señal digital puede ser reconstruida gracias a los sistemas de regeneración de señales (usados también para amplificarla, sin introducir distorsión).

También se pueden implementar, sistemas de detección y corrección de errores que, por ejemplo, permiten introducir el valor de una muestra dañada, obteniendo el valor medio de las muestras adyacentes (interpolación).

Facilidad el procesamiento de la señal.

La señal digital permite la multigeneración infinita sin pérdidas de calidad. Esta ventaja sólo es aplicable a los formatos de disco óptico, la cinta magnética digital, aunque en menor medida que la analógica (que sólo soporta 4 o 5 generaciones).

1.3.4 Desventajas de la señal discreta

La señal digital requiere mayor ancho de banda para ser transmitida que la analógica.

Se necesita una conversión analógica-digital previa y una decodificación posterior, en el momento de la recepción. Este tema se estudia en Técnicas de Modulación Digital

La transmisión de señales digitales requiere una sincronización precisa entre los tiempos del reloj de transmisor, con respecto a los del receptor. Un desfase, por mínimo que sea, cambia por completo la señal. Este tema se estudia en Tipos de Transmisión.

1.4 Digitalización

La digitalización es una conversión analógica-digital (conversión A/D) de señales que consiste básicamente en realizar de forma periódica medidas de la amplitud de la señal y traducirlas a un lenguaje numérico. La conversión A/D también es conocida por el acrónimo inglés ADC (*analogic to digital conversión*).

Una conversión analógica-digital consiste en la transcripción de señales analógicas en señales digitales, con el propósito de facilitar su procesamiento (encriptación, compresión, etc.) y hacer la señal resultante (la digital) más inmune al ruido y otras interferencias a las que son más sensibles las señales analógicas.

En esta definición están patentes los cuatro procesos que intervienen en la conversión analógica-digital:

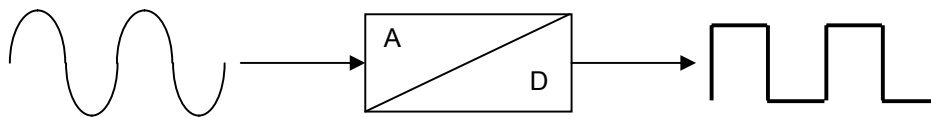
Muestreo: El muestreo (*Sampling*) consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de onda. La velocidad con que se toman esta muestra, es decir, el número de muestras por segundo, es lo que se conoce como frecuencia de muestreo.

Retención: (*Hold*): Las muestras tomadas han de ser retenidas (retención) por un circuito de retención (Hold), el tiempo suficiente para permitir evaluar su nivel (cuantificación).

Cuantificación: En el proceso de cuantificación se mide el nivel de voltaje de cada una de las muestras. Consiste en asignar un margen de valor de una señal analizada a un único nivel de salida.

Codificación: La codificación consiste en traducir los valores obtenidos durante la cuantificación al código binario. Hay que tener presente que el código binario es el más utilizado, pero también existen otros tipos de códigos que también son utilizados.

Durante el muestreo y la retención, la señal aun es analógica puesto que aún puede tomar cualquier valor. No obstante, a partir de la cuantificación, cuando la señal ya toma valores finitos, la señal ya es digital. Los cuatro procesos tienen lugar en un conversor analógico-digital.



Estos procesos se estudian en Técnicas de Modulación Digital.

1.5 Compresión

La compresión consiste en la reducción de la cantidad de datos a transmitir o grabar, pues hay que tener en cuenta que la capacidad de almacenamiento de los soportes es finita, de igual modo, que los equipos de transmisión pueden manejar sólo una determinada tasa de datos.

Para realizar la compresión de las señales, se usan complejos algoritmos de compresión (fórmulas matemáticas).

Hay dos tipos de compresión:

Compresión sin pérdidas: En esencia se transmite toda la información, pero eliminando la información repetida, agrupándola para que ocupe menos...etc.

Compresión con pérdidas: Se desprecia cierta información considerada irrelevante. Este tipo de compresión puede producir pérdida de *calidad* en el resultado final.