UNIVERSITE MOSTAPHA BEN BOULAID BATNA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT ELECTRONIQUE

Théorie de signal

Contenu de la matière:

Chapitre 1 : Généralités sur les signaux

Signaux analogiques / discrets, Signaux particuliers, Signaux déterministes et Signaux aléatoires, Notions de puissance et d'énergie.

Chapitre 2 : Analyse de Fourier

Introduction, Séries de Fourier, Transformée de Fourier, Théorème de Perceval.

Chapitre 3 : Transformée de Laplace

Propriétés de la Transformée de Laplace, Analyse temporelle et fréquentielle.

Chapitre 4 : Produit de Convolution

Formulation du produit de convolution, Propriétés du produit de convolution, Produit de convolution et impulsion de Dirac, Déconvolution.

Chapitre 5 : Corrélation des signaux

Inter corrélation entre les signaux, Autocorrélation, Propriétés de la fonction de corrélation, Cas des signaux périodiques.

Chapitre 6 : Echantillonnage et Signaux discrets

Signaux discrets, Echantillonnage réel, Echantillonnage idéalisé, Théorème d'échantillonnage, Transformée en Z.

Chapitre 1 : Généralités sur les signaux

La théorie du signal est l'ensemble des outils mathématiques qui permet de décrire les signaux et les bruits émis par une source, ou modifiés par un système de traitement.

- **Le signal** représente l'information émise par une source et destinée à un récepteur. Il peut être le support qui permet de transférer l'énergie depuis un émetteur jusqu'à un récepteur.

Exemple

Les signaux pour une automobile :

- La pression sur l'accélérateur représente le signal d'entrée.

- La vitesse du véhicule représente le signal de sortie.

- **Le bruit** est tout phénomène perturbateur gênant l'interprétation d'un signal.

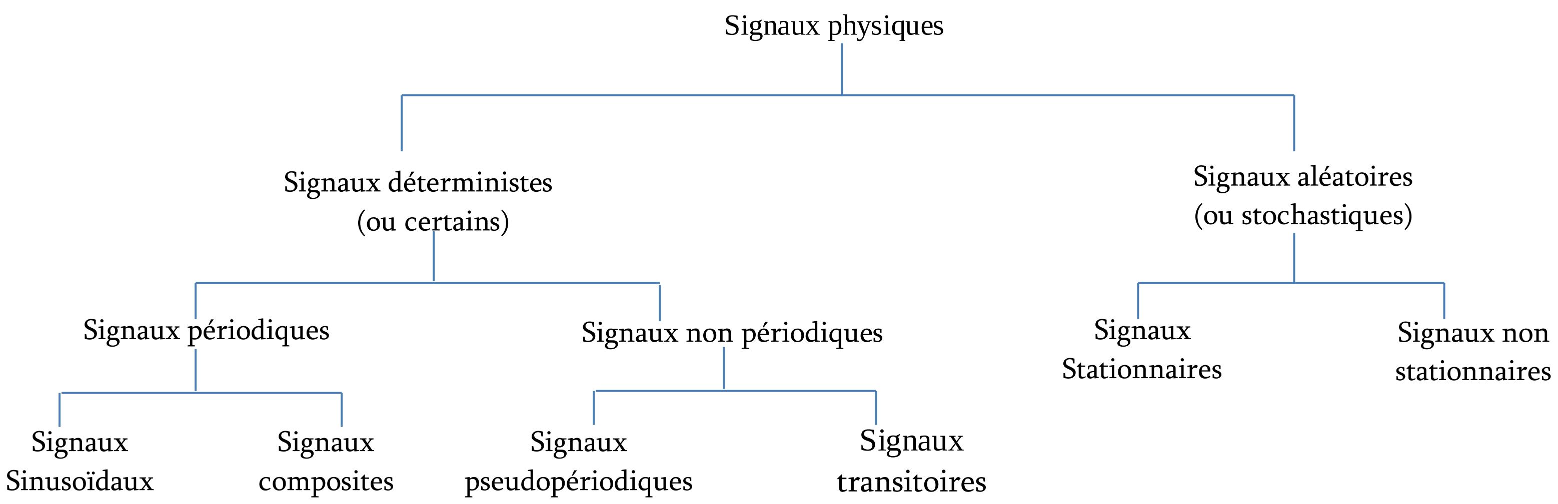
Exemple

Pour un opérateur sonar, le signal utile est émis par les navires et les sous-marins, alors que les poissons émettent des signaux qui sont des perturbations pour le signal utile, donc des bruits,

1. Classification des signaux

1.1 Classification phénoménologique ou temporelle

On distingue 2 grands types de signaux : déterministes (certains) ou aléatoires:



1.1.1 Les signaux déterministes (certains)

Les signaux déterministes sont qualifiés de certains, c'est-à-dire prévisibles dans le temps. Ils peuvent être décrits par un modèle mathématique.

Pour les signaux déterministes, on considère :

1. Les phénomènes périodiques sont assez courants autour de nous : alternance des jours et des nuits liée à la rotation régulière de la Terre,

Un signal déterministe, représenté par sa fonction f est dit périodique de période T si f(t)=f(t+T), c à d il est constitué d'un motif qui se répète régulièrement.

Les signaux sinusoïdaux : sont un cas particulier des signaux déterministes :

$x(t) = A\sin(\omega t + \varphi) = A\sin(2\pi f t + \varphi)$ avec A est l'amplitude, $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ est la pulsation et φ est le déphasage.

Les signaux Composites : Ce sont des signaux qui peuvent être décomposés en signaux périodiques dont le rapport des périodes est rationnel.

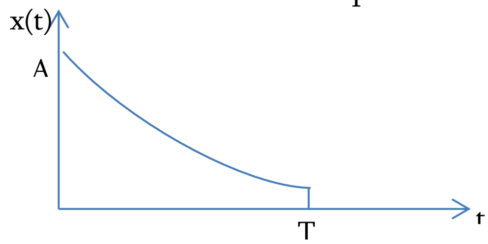
2. Les signaux non-périodiques peuvent être :

Les signaux Pseudopériodiques : Ce sont des signaux dont l'amplitude varie au cours du temps.

Les signaux Transitoires : Ce sont les signaux dont l'existence est limitée dans le temps.

Exemple

$$x(t) = \begin{cases} Ae^{-t} & si\ 0 < t < T \\ 0 & si\ t > T \end{cases}$$



1.1.2 Les signaux aléatoires

Un signal x(t) est aléatoire si son évolution est imprévisible et ne peut être décrite que par des méthodes statistiques. Ces signaux sont étudiés en introduisant le calcul des probabilités.

Dans un système électronique, le signal aléatoire est un perturbateur (signal nuisible).

Exemple : parole, vent, bruit…..

En ce qui concerne les signaux aléatoires, on peut définir :

1. Les signaux stationnaires leurs caractéristiques aléatoires ne sont pas modifiés au cours du temps c à d les résultats de leurs analyse statistique restent les mêmes quel que soit le moment d'observation.

2. Les signaux non stationnaires leurs caractéristiques statistiques évoluent au cours du temps.

1.2 Classification énergétique

Signaux
→ Energie finie : Puissance nulle (Signaux transitoires)
→ Energie infinie : - Puissance finie (Signaux périodiques)
- Puissance infinie (Signaux apériodiques, Signaux divergents dans le temps)

Les signaux peuvent être :

A énergie finie : sont les signaux à support borné, c-à-d de durée limitée. Vérifie la condition :

$$W_x = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt \ < +\infty$$

A puissance moyenne finie : qui possède une énergie infinie et sont donc physiquement irréalisable et vérifie la condition :

$$0 < P_x = \lim_{T\to\infty} \left[\frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt \right] < +\infty$$

Exemple

$x(t) = rect\left(\frac{t}{T}\right)$

Son énergie est $W_x = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} 1 \, dt = T$

La puissance des signaux divergents dans le temps vérifie la condition :$P_x = \lim_{T\to\infty} \left[\frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt \right] = +\infty$

1.3 Classification morphologique, on distingue les signaux qui ont des valeurs à chaque instant t et les signaux qui n'ont de valeurs qu'à certains instants t_i.

Amplitude / Temps	Continue	Discrète
Continu	**Analogique**	**Quantifié**
Discret	**Discret**	**Numérique**

1.4 Classification spectrale :

Un signal peut être classé suivant la distribution de son énergie ou de sa puissance en fonction de la fréquence. Le domaine de fréquence occupé par son spectre B= $\Delta f = f_2 - f_1$ s'appelle la bande occupée ou largeur de bande du signal :

Si $\Delta f \gg f_{moy}$ $(f_{max} \gg f_{min})$ Signaux à bande large

Si $\Delta f \ll f_{moy}$ $(f_{max} \cong f_{min})$ Signaux à bande étroite Ou $f_{moy} = \frac{f_{max}+f_{min}}{2}$

Signaux basse ou haute fréquence, large bande, bande étroite.

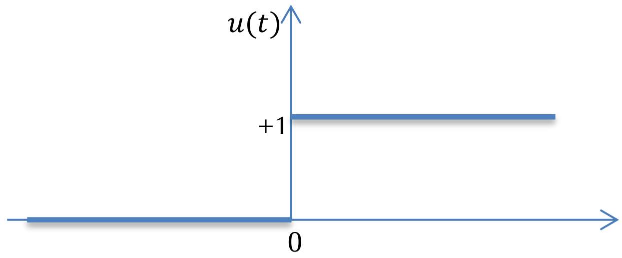
1.5 Classification dimensionnelle :

- Monodimensionnel (1-D) : un signal qui contient 1 seule variable, ex : le courant électrique i(t).
- Bidimensionnel (2-D) : un signal qui contient 2 variables, ex : image.
- Tridimensionnel (3-D) : un signal qui contient 3 variables, ex : pression.
- Multidimensionnel (3-D) : un signal qui contient n variables, ex : les ondes.

2. Fonctions et signaux élémentaires

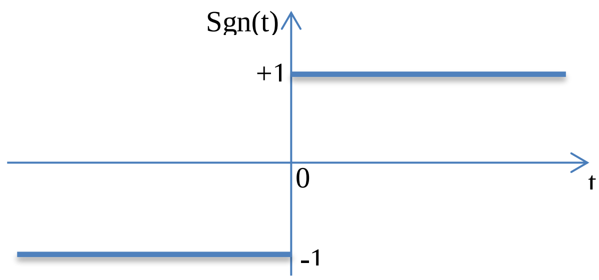
Fonction échelon unité (Heaviside)

$$\mathrm{u(t)} = \begin{cases} +1 & si\ t > 0 \\ 0 & si\ t < 0 \\ \dfrac{1}{2} & si\ t = 0 \end{cases}$$



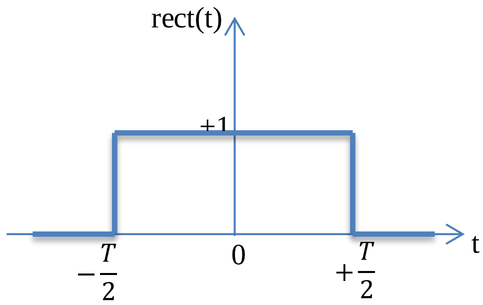
Fonction signe

$$\mathrm{Sgn(t)} = \begin{cases} +1 & si\ t > 0 \\ -1 & si\ t < 0 \\ 0 & si\ t = 0 \end{cases}$$



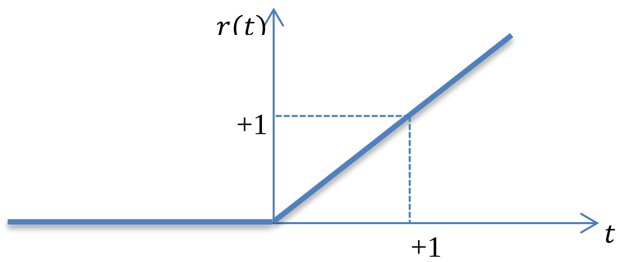
Fonction porte (rect)

$$\mathrm{rec(t)} = \begin{cases} +1 & si\ -\dfrac{T}{2} < t < +\dfrac{T}{2} \\ 0 & ailleurs \end{cases}$$



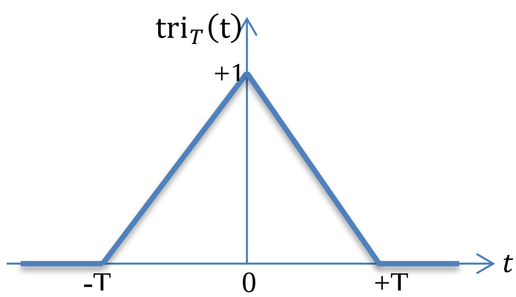
Fonction rampe

$$\mathrm{r(t)} = \begin{cases} +t & si\ t > 0 \\ 0 & si\ t < 0 \end{cases}$$



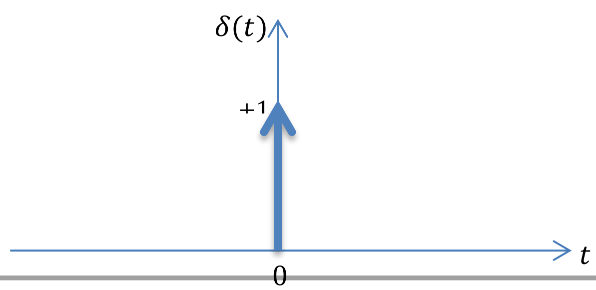
Fonction triangulaire

$$\mathrm{tri}_T\mathrm{(t)} = \begin{cases} 1 - \dfrac{|t|}{T} & si\ |t| \leq T \\ 0 & ailleurs \end{cases}$$



Impulsion de Dirac (pic)

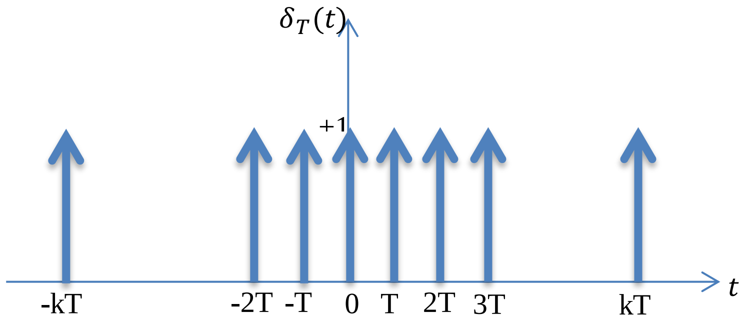
$$\delta(t) = \begin{cases} +1 & si\ t = 0 \\ 0 & ailleurs \end{cases}$$



Peigne de Dirac (ou train d'impulsions)

$$\delta_T(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(t - kT)$$

Avec $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \dots \dots$

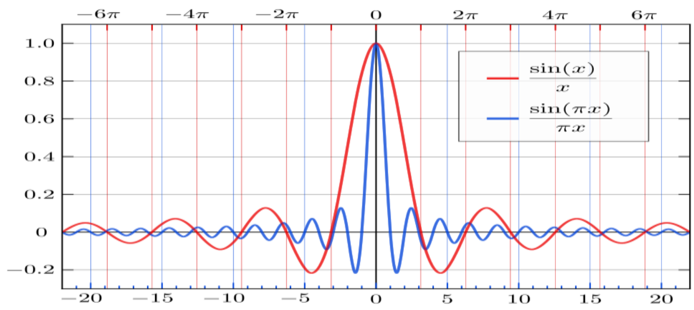


Sinus cardinal

$$sinc(t) = \frac{\sin(\pi t)}{\pi t}$$

Ou $sinc(t) = 1 \;\; quand \;\; t \to \infty$

$$et \int_{-\infty}^{+\infty} sinc(t)dt = 1$$



Chapitre 2 : Analyse de Fourier

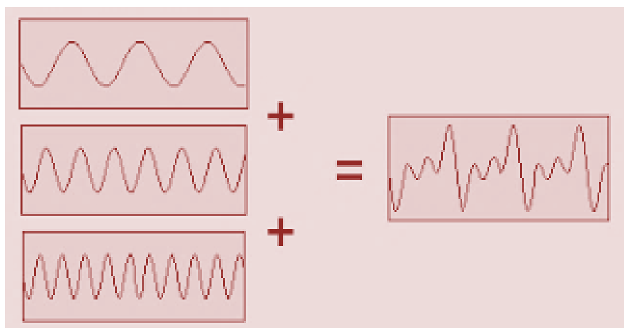
L'analyse de Fourier est l'outil mathématique principal qui permet le passage de la représentation temporelle des signaux **périodiques** à la représentation fréquentielle.

2.1 Séries de Fourier

2.1.1 Décomposition d'un signal en Série de Fourier Trigonométrique

La décomposition en série de Fourier permet de représenter un signal comme une somme infinie de signaux sinusoïdaux et Co-sinusoïdaux.

Pour pouvoir être décomposable, un signal doit être à variations bornées (Dirichlet).



$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{+\infty} a_k \cos(2\pi k f_0 t) + \sum_{k=1}^{+\infty} b_k \sin(2\pi k f_0 t)$$

$\frac{a_0}{2}$ est la composante continue ou la valeur moyenne :

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

$$a_k = \frac{2}{T}\int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} x(t)\cos(2\pi k f_0 t)\,dt \qquad k \geq 0$$

$$b_k = \frac{2}{T}\int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} x(t)\sin(2\pi k f_0 t)\,dt \qquad k \geq 1$$

Le fondamental est la fréquence la plus basse, et toutes les autres fréquences ce sont des harmoniques, qui sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale.

Remarque : Si x(t) est paire x(t)=x(-t) alors b_k=0

Si x(t) est impaire x(-t)=-x(t) alors a_k=0

Il existe 2 autres façons d'exprimer la série de Fourier : sous forme polaire, ou forme exponentielle.

2.1.2 Décomposition en harmoniques forme cosinus (polaire)

La forme polaire permet de mieux identifier l'amplitude et la phase des composantes d'un signal.

$$x(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{+\infty} A_k \cos(2\pi k f_0 t + \varphi_k)$$

Avec $A_0 = \frac{a_0}{2}$

$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$ et $\varphi_k = arctg(-\frac{b_k}{a_k})$

Spectre unilatéral : Il s'agit de l'ensemble des coefficients A_k (l'amplitude) et de la phase que l'on représente graphiquement en fonction des fréquences des harmoniques.

2.1.3 Décomposition en série de Fourier forme complexe

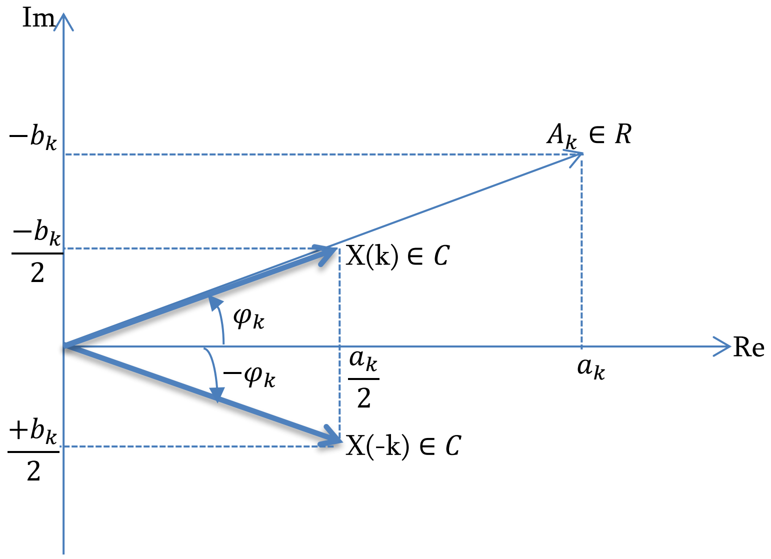
La forme exponentielle est souvent plus simple pour les calculs mathématiques. C'est la forme la plus utilisée en traitement de signal.

En introduisant les relations d'Euler $\cos(t) = \frac{e^{-jt}+e^{+jt}}{2}$ $\qquad \sin(t) = \frac{e^{+jt}-e^{-jt}}{2j}$

On obtiendra la série de Fourier Complexe

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} X(k)e^{j2\pi k f_0 t}$$

$$X(k) = \frac{1}{T}\int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} x(t)e^{-j2\pi k f_0 t}dt \qquad \text{avec } -\infty \leq k \leq +\infty$$



Les coefficients $X(k) = X_r(k) + jX_i(k)$ avec $X_r(k)$ est la partie réelle, $X_i(k)$ est la partie imaginaire

$X(k) = \frac{a_k - jb_k}{2}$ si $k > 0$

$X(k) = \frac{a_k + jb_k}{2}$ si $k < 0$

On peut aussi déduire $X(k)$ à partir des coefficients de Fourier de la forme Cosinus :

$X(k) = \frac{A_k}{2}\ e^{j\varphi_k}$ si $k > 0$

$X(k) = \frac{A_k}{2}\ e^{-j\varphi_k}$ si $k < 0$

Spectre bilatéral : représente le module $|X(K)|$ et la phase arg(k) en fonction des fréquences.

2.2 Transformée de Fourier

Les séries de Fourier permettent de passer du domaine temporel au domaine fréquentiel pour des signaux périodiques, dans le cas contraire, on utilisera la Transformée de Fourier.

Considérons que la période T est infinie (donc F tend vers 0) et comme les harmoniques sont des multiples de f l'espace fréquentiel (entre deux raies du spectre) est réduit. On tend alors vers un spectre continu.

Donc, la transformée de Fourrier est la densité spectrale (qui indique la "quantité" de fréquence f présente dans le signal x(t)) d'amplitude X(f) définit par :

$$X(f) = TF\{x(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j2\pi f t}dt$$

La transformée inverse de Fourier est

$$x(t) = TF^{-1}\{X(f)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f)e^{j2\pi f t}df$$

2.2.1 Densité spectrale du module et de la phase

La densité spectrale d'un signale x(t) est une fonction complexe :

$X(f) = X_r(f) + jX_{im}(f)$

$|X(f)| = \sqrt{{X_r}^2(f) + {X_{im}}^2(f)}$

$\arg(X(f) = \arctan(\frac{X_{im}}{X_r})$

2.2.2 Conditions d'existence de la TF

Pour qu'un signal x(t) ait une transformée de Fourrier, il faut et il suffit qu'il vérifie les conditions de Dirichlet : Le signal x(t) soit intégrable càd : $\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)| dt < \infty$, possède un nombre fini d'extrémums et un nombre fini de discontinuités dans chaque intervalle de temps fini.

(Tous les signaux à énergie finie vérifient ces conditions suffisantes)

2.2.3 Propriétés de la TF

<u>Linéarité</u>

$$x(t) \overset{TF}{\rightarrow} X(f)$$
$$y(t) \overset{TF}{\rightarrow} Y(f)$$
$$ax(t) + by(t) \overset{TF}{\rightarrow} aX(f) + bY(f)$$

<u>Décalage (translation dans le temps)</u>

$$x(t) \overset{TF}{\rightarrow} X(f)$$
$$x(t - t_0) \overset{TF}{\rightarrow} e^{-j2\pi f t_0} X(f)$$
$$x(t + t_0) \overset{TF}{\rightarrow} e^{j2\pi f t_0} X(f)$$

<u>Modulation</u>

$$x(t) \overset{TF}{\rightarrow} X(f)$$
$$x(t) e^{j2\pi f_0 t} \overset{TF}{\rightarrow} X(f - f_0)$$

<u>Dérivation</u>

$$x(t) \overset{TF}{\rightarrow} X(f)$$
$$\frac{d^n x(t)}{dt} \overset{TF}{\rightarrow} (j2\pi f)^n X(f)$$

Conjugué

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

$$x^*(t) \xrightarrow{TF} X^*(f)$$

Changement d'échelle dans le temps

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

$$x(at) \xrightarrow{TF} \frac{1}{|a|} X(\frac{f}{a})$$

2.2.4 Transformée de Fourier des signaux élémentaires

Le signal	Transformée de Fourier du signal
Constante A	$A\delta(f)$
$\delta(t)$	1
Peigne de Dirac $\sum_n \delta(t-nT)$	$\sum_n \frac{1}{T}\delta(f-\frac{n}{T})$
$\delta(t-\tau)$	$e^{-j2\pi f\tau}$
$A.rect(\frac{t}{\tau})$	$A\tau.sinc(f\tau)$
$A.tri(\frac{t}{T})$	$AT.sinc^2(fT)$
$e^{-j2\pi f_0 t}$	$\delta(f+f_0)$
$e^{j2\pi f_0 t}$	$\delta(f-f_0)$

2.3 Théorème de Perceval

La relation de Perceval montre qu'il y'a conservation de la puissance lorsque l'on passe d'une représentation temporelle à une représentation fréquentielle, autrement dit l'énergie d'une fonction ne dépend pas de sa représentation temporelle, ni fréquentielle, donc $\int_{-\infty}^{+\infty}|x(t)|^2\,dt = \int_{-\infty}^{+\infty}|X(f)|^2\,df$

Chapitre 3 : Transformée de Laplace

Certains signaux n'ont pas de Transformée de Fourier car l'intégrale : $X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j2\pi ft}dt$ diverge.
On introduit alors un facteur e^{-rt} qui peut éventuellement faire converger l'intégrale :
$\int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\ e^{-rt}e^{-j2\pi ft}dt = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\ e^{-(r+j2\pi f)t}dt$
La fonction « transformée de Laplace » n'est pas définie dans tout le plan complexe : elle n'existe que dans une partie du plan qu'on appelle : Région de Convergence.

3.1 Transformée de Laplace

- Transformée de Laplace bilatérale : intégration de $-\infty$ à $+\infty$
- Transformée de Laplace mono latérale : existe seulement pour les fonctions causale (pour $t < 0$: $x(t) = 0$)

$X(p) = \int_{0}^{+\infty} x(t)\ e^{-pt}dt$ avec $p = r + j\omega = r + j2\pi f$

3.2 Propriétés de la Transformée de Laplace

<u>Linéarité :</u>

$$f(t) \overset{TL}{\rightarrow} F(P)$$
$$h(t) \overset{TL}{\rightarrow} H(P)$$
$$af(t) + bh(t) \overset{TL}{\rightarrow} aF(P) + bH(P)$$

<u>Décalage:</u>

$$f(t) \overset{TL}{\rightarrow} F(P)$$
$$f(t - t_d) \overset{TL}{\rightarrow} F(P)e^{-Pt_d}$$
$$f(t + t_d) \overset{TL}{\rightarrow} F(P)e^{+Pt_d}$$

<u>Dilatation</u>

$$f(t) \overset{TL}{\rightarrow} F(P)$$

$$f(at) \overset{TL}{\rightarrow} \frac{1}{|a|}F(\frac{P}{a})$$

<u>Amortissement :</u>

$$f(t) \overset{TL}{\rightarrow} F(P)$$
$$f(t)e^{at} \overset{TL}{\rightarrow} F(P - a)$$

Théorème de la valeur initiale :

$$f(t) \xrightarrow{TL} F(P)$$

$$\lim_{t\to 0} f(t) \xrightarrow{TL} \lim_{P\to +\infty} P.F(P)$$

Théorème de la valeur finale :

$$f(t) \xrightarrow{TL} F(P)$$

$$\lim_{t\to +\infty} f(t) \xrightarrow{TL} \lim_{P\to 0} P.F(P)$$

Dérivation :

$$f(t) \xrightarrow{TL} F(P)$$

$$\frac{d^n f(t)}{dt} \xrightarrow{TL} P^n\, F(P) - P^{n-1}\, F(0) - P^{n-2}\,\frac{df(0)}{dt} - P^{n-3}\,\frac{d^2 f(0)}{dt^2} - \cdots - \frac{d^{n-1} f(0)}{dt^{n-1}}$$

Intégration :

$$f(t) \xrightarrow{TL} F(P)$$

$$\int_0^{+\infty} f(\tau)d\tau \xrightarrow{TL} \frac{F(P)}{P} + \frac{1}{2}F(0)\delta(P) \quad ou\ F(0) = \int_0^{+\infty} f(t)dt$$

3.3 Tableau des Transformées de Laplace

Le signal	**Transformée de Laplace du signal**
Constante A	$\frac{A}{P}$
$\delta(t)$	1
t	$\frac{1}{P^2}$
$\frac{t^2}{2}$	$\frac{1}{P^3}$
e^{-at}	$\frac{1}{(P+a)}$
te^{-at}	$\frac{1}{(P+a)^2}$
$\frac{t^2}{2}e^{-at}$	$\frac{1}{(P+a)^3}$

$\sin(\omega_0 t)$	$\frac{\omega_0}{P^2+\omega_0^2}$
$\cos(\omega_0 t)$	$\frac{P}{P^2+\omega_0^2}$
$e^{-at}\sin(\omega_0 t)$	$\frac{\omega_0}{(P+a)^2+\omega_0^2}$
$e^{-at}\cos(\omega_0 t)$	$\frac{P+a}{(P+a)^2+\omega_0^2}$

3.4 Transformée inverse de Laplace

$$x(t) = L^{-1}(X(p)) = \frac{1}{j2\pi}\int_{r-\infty}^{r+\infty} X(p)\, e^{pt} dp$$

Cette relation n'est généralement pas utilisée, la meilleure méthode donnant facilement la transformée inverse d'un signal X(P) est la décomposition en fractions simples. Cette méthode, en plus de sa simplicité, donne une formule mathématique de la transformée inverse dans le domaine temporel.

Soit

$$X(P) = k\frac{(P-Z_1)(P-Z_2)(P-Z_3)\ldots\ldots(P-Z_m)}{(P-p_1)(P-p_2)(P-p_3)\ldots\ldots(P-p_n)}$$

Ou

Z_m les zéros qui annulent X(P).

p_n les pôles qui annulent le dénominateur.

3.4.1 Si $m < n$

Deux cas de catégories de pôles possibles pour (p):

Décomposition de X(p) ayant uniquement de pôles simples :

$$X(P) = \frac{N(P)}{D(P)} = \frac{N(P)}{\prod_{i=1}^{n}(P-p_i)} = \sum_{i=1}^{n}\frac{\alpha_i}{(P-p_i)}$$

$$\alpha_i = \lim_{P\to P_i}[(P-p_i)X(P)]$$

Décomposition de X(p) ayant de pôles multiples de multiplicité r:

$$X(P) = k\frac{(P-Z_1)(P-Z_2)\ldots\ldots(P-Z_m)}{(P-p_i)^r} = \frac{\alpha_1}{(P-p_i)} + \frac{\alpha_2}{(P-p_i)^2} + \cdots + \frac{\alpha_i}{(P-p_i)^r}$$

$$\alpha_{r-i} = \lim_{P\to P_i}\left[\frac{1}{i!}\frac{d^i}{dp^i}\{(P-p_i)^r X(P)\}\right] \text{ avec } i = 0,1,2,3,\ldots\ldots,r-1$$

3.4.2 Si m ≥ n

On fait la division Euclidienne de X(P).

3.5 Analyse temporelle et fréquentielle d'un Système Linéaire Invariant dans le Temps

Un système continu dont l'entrée x(t) donne une sortie y(t) est linéaire lorsqu'il vérifié le théorème de superposition càd :

Si $x = \alpha x_1 + \beta x_2$ alors $f(\alpha x_1 + \beta x_2) = \alpha f(x_{1)} + \beta f(x_2) = \alpha y_1 + \beta y_2$

Et il est Invariant dans le temps lorsque les caractéristiques des éléments le constituant ne change pas avec le temps.

Ce système est décrit par l'équation différentielle suivante :

$$a_0 y(t) + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_2 \frac{d^2y(t)}{dt^2} + \cdots + a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} = b_0 x(t) + b_1 \frac{dx(t)}{dt} + b_2 \frac{d^2x(t)}{dt^2} + \cdots + b_m \frac{d^m x(t)}{dt^m}$$

L'utilisation de la propriété de dérivation avec conditions initiales nulles donne :

$$a_0 Y(P) + a_1 PY(P) + a_2 P^2 Y(P) + \cdots + a_n P^n Y(P) = b_0 X(P) + b_1 PX(P) + b_2 P^2 X(P) + \cdots + b_m P^m X(P)$$

De cette relation, on distingue la fonction de transfert $H(P)$:

$$H(P) = \frac{Y(P)}{X(P)} = \frac{b_0 + b_1 P + b_2 P^2 + \cdots + b_m P^m}{a_0 + a_1 P + a_2 P^2 + \cdots + a_n P^n}$$

La sortie $y(t) = L^{-1}\{Y(P)\} = L^{-1}\{H(P).X(P)\}$

Si $X(P) = 1\ donc\ x(t) = \delta(t)$ et $y(t) = L^{-1}\{1.H(P)\} = h(t)$: c'est **la réponse impulsionnelle**.

Les circuits RLC sont l'exemple fondamental des systèmes dont le comportement est décrit par des équations différentielles linéaires.