

Le dossier « **logiciels_temps_reel_IUT** » contient un ensemble de logiciels utilisés en travaux pratiques avec des étudiants de DUT, de licence et d'école d'ingénieurs, dans les domaines du **traitement du signal** et des **asservissements**.

Nous avons constaté que quelques étudiants modifiaient les codes des fichiers « .m ». C'est pour cette raison que les fichiers sont fournis en pseudo-code (fichiers « .p »)

Ces logiciels fonctionnent avec une carte d'acquisition en entrées et sorties, **en temps réel**. Il ne s'agit donc pas de logiciels de simulation : on réalise effectivement par exemple des correcteurs dans une boucle d'asservissement ; l'environnement MATLAB permet de comparer aisément les résultats expérimentaux et théoriques.

Ces logiciels ont été testés avec une carte « National Instruments - PCI 6221 – 37 pins » ; ils utilisent la **RealTime Windows Target** toolbox et la **RealTime Workshop** toolbox (Matlab et Simulink versions R2008 à R2010) ou **Simulink Coder** (version R2011). A priori, toutes cartes d'acquisition reconnues par la RealTime Windows Target toolbox peuvent être utilisées, mais nous n'avons pas vérifié cette affirmation.

On peut classer ces logiciels en 4 catégories :

- Enregistrement
- Asservissements
- Identification de processus
- Traitement du signal

Enregistrement : logiciel « Table Traçante »

Ce logiciel est destiné à l'enregistrement des réponses de systèmes lents.

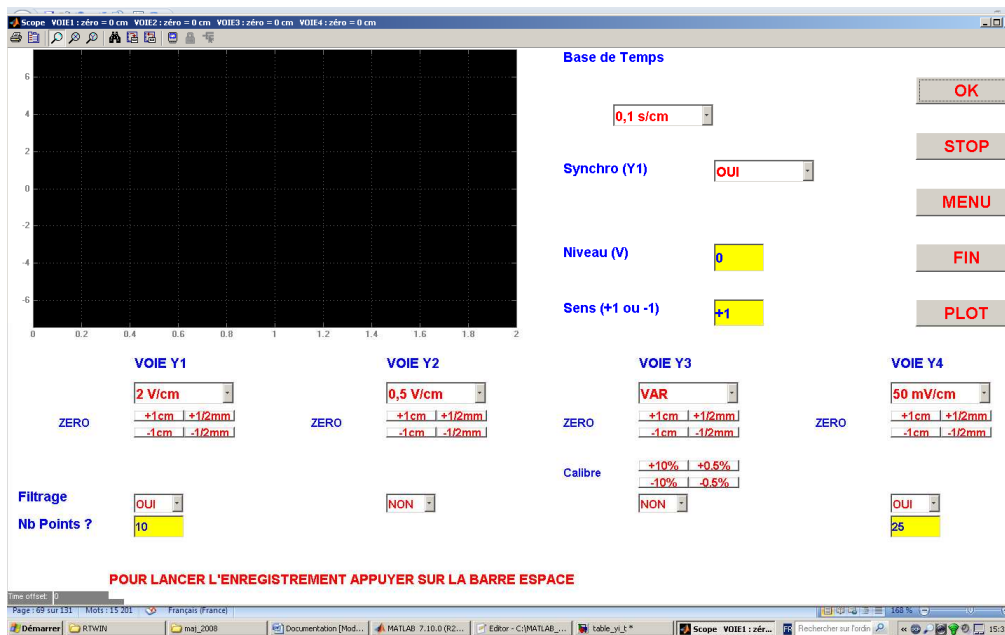
On peut :

- Faire des enregistrements $Y = f(t)$, de 1 à 4 voies simultanément. Les tensions visualisées peuvent être référencées à la masse ou être différentielles.
- Faire des enregistrements $Y = f(X)$. Les tensions peuvent être également référencées à la masse ou différentielles.

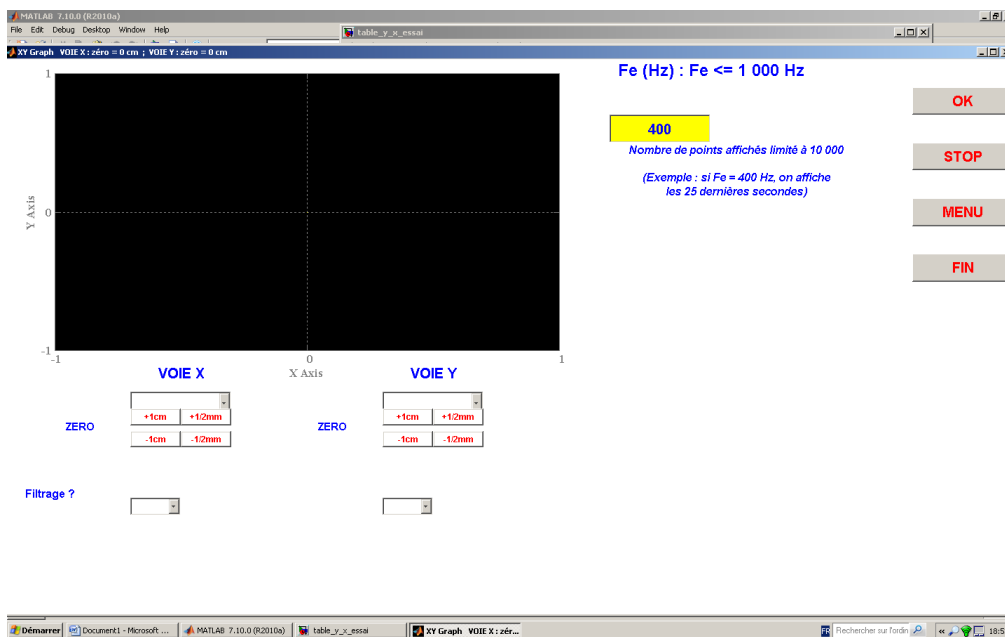
En mode $Y=f(t)$, la base de temps peut varier de 20 ms/cm à 20 s/cm.

Les calibres en tension vont de 2V/cm à 20 mV/cm, plus un mode « variable » (désétalonné).

On obtient une figure comparable à la face avant d'un oscilloscope :



En mode X-Y, la fréquence d'échantillonnage, limitée à 1000 Hz, est laissée au choix de l'utilisateur ; seuls les 10 000 derniers points sont visibles. On obtient la figure ci-dessous :



Le bouton « PLOT » qui apparaît à la fin du balayage de la base de temps ou lorsqu'on arrête l'enregistrement X-Y par le bouton « STOP », permet d'obtenir les courbes dans une fenêtre de type figure, avec tous les outils liés aux figures, en particulier des curseurs de mesures. Tant que la fenêtre n'est pas fermée, les courbes se superposent.

Il est possible de sauver dans un fichier « .mat » une courbe de façon à pouvoir la rappeler ultérieurement et l'afficher, éventuellement avec un retard.

Les instructions suivantes, qui peuvent être placées dans le fichier « startup.m », permettent d'obtenir une impression telle que 1 division écran = 1 cm imprimé :

```
set(0, 'DefaultFigurePaperOrientation', 'landscape')
set(0, 'DefaultFigurePaperType', 'a4letter')
```

```
set(0, 'DefaultFigurePaperUnits', 'centimeters')
set(0, 'DefaultFigurePaperPosition', [0.5 0.5 25.75 18.32])
```

Asservissements

Cette catégorie regroupe 3 logiciels

- Correcteurs analogiques programmés
- Correcteurs numériques
- Reconstruction du flux d'une machine asynchrone

Il est possible d'enregistrer la réponse du système bouclé et d'imprimer cette réponse, **sans interrompre le fonctionnement du correcteur.**

-1- Correcteurs analogiques programmés

Conditions d'utilisation

La période d'échantillonnage T_E doit être petite devant toutes les constantes de temps de l'ensemble processus + correcteur.

Correcteurs réalisables

On peut réaliser les correcteurs suivants :

- **PID** – structure parallèle
(**P** si $T_i = \infty$ et $T_d = 0$, **PD** si $T_i = \infty$, **PI** si $T_d = 0$)
- **PIR**
- **Prédicteur de Smith**
- **R(p)** quelconque
- **Correction « tachymétrique »** (boucle de réaction secondaire)

Seule la structure du correcteur change.

• PID

Le PID possède une option supplémentaire : on peut faire varier chaque paramètre par bond (touches « + » ou « - »). On peut ainsi, par exemple, rechercher le régime critique.

• PIR

Ce correcteur est utilisé dans le cas où le processus est un système du premier ordre retardé : $G(p) = \frac{A}{1 + \tau p} \cdot e^{-T_p}$, et permet d'obtenir, en boucle fermée, une fonction de transfert

de la forme : $W(p) = \frac{1}{1 + \frac{\tau}{\alpha} p} \cdot e^{-T_p}$

• Prédicteur de Smith

Ce correcteur est utilisé dans le cas où le processus présente un retard :

$$G(p) = G_0(p).e^{-T.p}$$

Soit $R_0(p)$ le correcteur obtenu dans le cas où **le processus ne présenterait pas de retard**. (Par exemple, un correcteur PID)

$R_0(p)$ et $G_0(p)$ sont définies par leur numérateur et leur dénominateur.

La fonction de transfert du correcteur est :
$$R(p) = \frac{R_0(p)}{1 + R_0(p).G_0(p).(1 - e^{-T.p})}$$

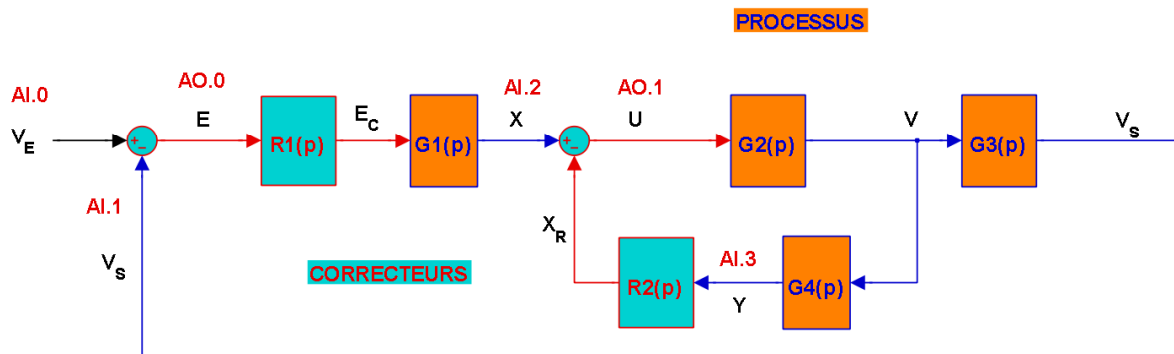
- $R(p)$ quelconque

L'utilisateur programme la fonction de transfert $R(p)$ du correcteur.

- Correction tachymétrique

La fonction de transfert $G(p)$ du processus peut être décomposée en 3 blocs :

$$G(p) = G_1(p).G_2(p).G_3(p)$$



L'utilisateur programme les fonctions de transfert $R_1(p)$ et $R_2(p)$.

-2- Correcteurs numériques

Ce logiciel permet de réaliser des correcteurs numériques dans une boucle d'asservissement échantillonné : la période d'échantillonnage T_E peut être du même ordre de grandeur que les constantes de temps du processus.

Le correcteur en Z est programmé directement :

$$C(z) = \frac{NUM(z)}{DEN(z)}$$

Deux « Scope » sont utilisés : le premier pour visualiser les grandeurs analogiques (consigne et sortie du processus), le deuxième pour visualiser les grandeurs échantillonnées.

-3- Reconstruction du flux d'une machine asynchrone

Ce logiciel est plus spécialement dédié à des étudiants en dernière année de formation d'ingénieurs.

Il s'agit à partir des mesures des tensions de chaque phase et des courants de chaque phase de reconstruire les flux, en temps réel, dans une machine asynchrone à cage. Pour savoir si la reconstruction est correcte, on peut à partir du flux déterminer la vitesse de

rotation de la machine, et comparer le résultat avec la mesure effective de cette vitesse obtenue à l'aide d'une génératrice tachymétrique.

On peut alors envisager des asservissements dits « sans capteur ».

Identification de processus

Afin de pouvoir choisir le type de correcteur à utiliser dans une boucle d'asservissement, la première étape consiste à identifier le processus.

Cette catégorie regroupe 3 logiciels

- Identification
- Réponse impulsionnelle
- Modèle

-1- Identification

On peut :

- Déterminer la fonction de transfert d'un processus sans retard :

$$G(p) = \frac{a_0 + a_1.p + \dots + a_m.p^m}{p^k.(1 + b_1.p + \dots + b_n.p^n)} \quad (m \leq n + k)$$

- Déterminer la fonction de transfert d'un processus présentant un retard

$$\text{pur : } G(p) = \frac{a_0 + a_1.p + \dots + a_m.p^m}{p^k.(1 + b_1.p + \dots + b_n.p^n)} . e^{-T_r.p} \quad (m \leq n + k)$$

- Obtenir un modèle de Strejc du processus : on cherche ici un modèle de

$$\text{la forme : } G(p) = \frac{A}{(1 + \tau.p)^n} . e^{-T_r.p}$$

-2- Réponse impulsionnelle

T_u

Ce logiciel permet d'obtenir expérimentalement la réponse impulsionnelle d'un processus.

Le signal d'entrée, fourni par le logiciel (sortie AO.0) est soit un bruit blanc soit une séquence binaire pseudo-aléatoire (SBPA). La corrélation entre la réponse du processus et le signal d'entrée permet d'obtenir la réponse impulsionnelle et donc de remonter à la fonction de transfert du processus.

-3- Modèle

Il s'agit de comparer les réponses du processus et du modèle.

Le modèle est soit réalisé sur simulateur analogique de fonctions de transfert (avec un retard simulé), soit simulé à l'aide de SIMULINK, soit les 2.

Traitement du signal

Cette catégorie regroupe 5 logiciels

- Filtres numériques
- FFT

- FFT inverse
- Harmoniques
- Synthèse de filtres actifs (ne fonctionne pas en temps réel)

-1- Filtres numériques

MATLAB+SIMULINK sont utilisés pour calculer les échantillons du signal de sortie :

$$y_n = \sum_{k=0}^P a_k \cdot x_{n-k} \quad \text{ou} \quad y_n = \sum_{k=0}^P a_k \cdot x_{n-k} - \sum_{r=1}^Q b_r \cdot y_{n-r}$$

Comme pour l'étude de n'importe quel filtre, il faut attaquer le filtre numérique par un signal délivré par un GBF par exemple, et observer la réponse du filtre à l'oscilloscope.

On peut réaliser des filtres RIF ou RII.

Avec la carte d'acquisition PCI-6221, on peut réaliser par exemple un filtre RIF d'ordre 50 fonctionnant à 50 kHz.

Il est également possible d'observer la réponse impulsionnelle de ces filtres, les impulsions étant délivrées par programme et visibles à l'oscilloscope sur une deuxième sortie.

-2- FFT

Ce logiciel permet de faire :

- Des simulations avec des signaux programmés
- L'analyse spectrale d'un signal réel (acquisition)
- L'analyse spectrale de 2 signaux réels : typiquement sans et avec filtre d'anti repliement

Les échantillons peuvent être pondérés par différentes fenêtres :

- Rectangulaire
- Bartlett
- Hann
- Hamming
- Blackman
- Flattop

Après l'acquisition de $N = 2^m$ points, on lance le calcul de la FFT du (ou des) signal (pondérés ou non)

On peut afficher les spectres monolatéraux ou bilatéraux, en Volts ou en dB.

On peut enfin obtenir, sous forme de fichier texte, l'amplitude (complexe) des raies.

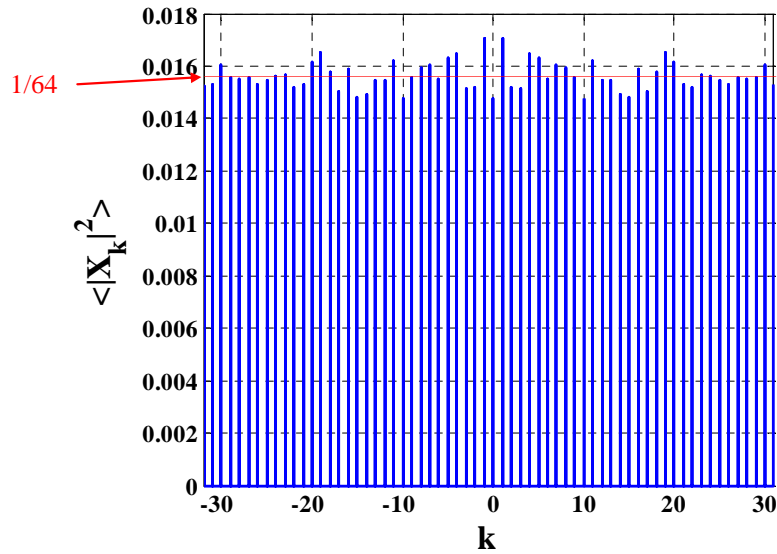
Un petit outil supplémentaire a été développé : `estimation_DSP`.

Cet outil peut être utilisé pour estimer la densité spectrale de puissance d'un signal aléatoire, un bruit blanc par exemple (« périodogramme »).

On enregistre, à l'aide du logiciel « FFT », le signal x avec un grand nombre de points (2^{16} points ou 2^{15}). On découpe ensuite x en tranche de 2^6 points par exemple, on calcule la FFT de chaque tranche, puis on moyenne $|X_k|^2$:

$[S,K]=estimation_DSP(x,64);$

Voici le résultat obtenu pour un bruit blanc, de puissance 1 V^2 , échantillonné à 64 Hz :



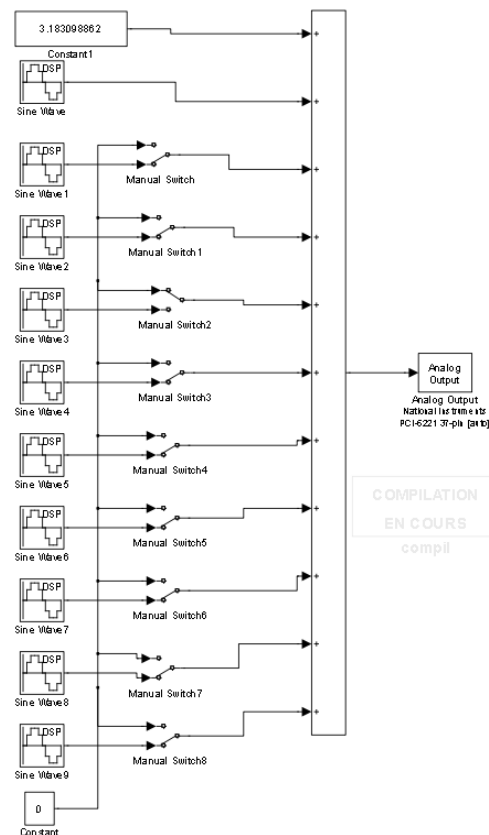
-3- FFT inverse

Il s'agit ici de reconstruire un signal, visible à l'oscilloscope car il est disponible sur une sortie de la carte d'acquisition, à partir de son spectre bilatéral.

Ce spectre est programmé : la fréquence d'échantillonnage F_E est fixée à 5 kHz. Le nombre total d'échantillons du signal, ou le nombre total de raies spectrales est $N = 5000$.

-4- Harmoniques

Il s'agit ici de reconstruire un signal, visible à l'oscilloscope, en ajoutant petit à petit les harmoniques :



-5- Synthèse de filtres actifs

Ce logiciel utilise MATLAB + SIMULINK et la SIMPOWERSYSTEM toolbox

Le noyau est constitué par une bibliothèque comprenant 5 filtres de base :

- Passe-bas et passe-haut du premier ordre
- Passe-bas et passe-haut du deuxième ordre (structure de Sallen et Key)
- Passe-bande du deuxième ordre (structure de Rauch)

Tous les filtres sont tels que l'amplification dans la bande passante soit + 1 ou - 1 **(gain dans la bande passante de 0 dB).**

Le logiciel permet de faire la synthèse de filtres :

- Passe bas
- Passe haut
- Passe bande

En utilisant les fonctions d'approximation de :

- Butterworth
- Chebychev

On peut obtenir, ou faire les études suivantes :

1. Fonction de transfert du filtre
2. Diagrammes de Bode (gain et argument) théoriques, et comparaison avec le gabarit
3. Réponse indicielle théorique
4. Réponse impulsionnelle théorique
5. Positions des pôles et zéros
6. Simulation et réalisation pratique à l'aide d'amplificateurs opérationnels (TL 084 par défaut)
7. Même étude qu'en -6-, mais en utilisant les valeurs normalisées les plus proches des valeurs théoriques (choix des séries E6, E12, E24, E48 ou E96)
8. Analyse de Monte Carlo : répartition aléatoire de la valeur des composants (pour une série donnée), ce qui permet d'avoir une idée de la dispersion des résultats si on réalise une production importante.
9. Sensibilité : on peut faire varier la valeur d'un composant d'une valeur minimale à une valeur maximale avec un pas choisi.

Il est possible de changer d'amplificateur opérationnel, en définissant les paramètres suivants :

- Amplification différentielle en continu
- Fréquence de coupure du montage suiveur
- Slew-rate
- Tensions d'alimentation
- Résistance d'entrée différentielle
- Résistance de sortie

Installation

Le dossier « logiciels_temps_reel_IUT » contient un fichier « **installation.m** » qu'il suffit d'exécuter sous Matlab.

Tous les fichiers nécessaires sont copiés dans un répertoire laissé au choix de l'utilisateur.

Il suffit ensuite d'exécuter « **liste_logiciels** » pour accéder par simple clic à l'un des programmes décrits précédemment.