

BE D'ANALYSE SPECTRALE

I. OBJECTIFS DU BE

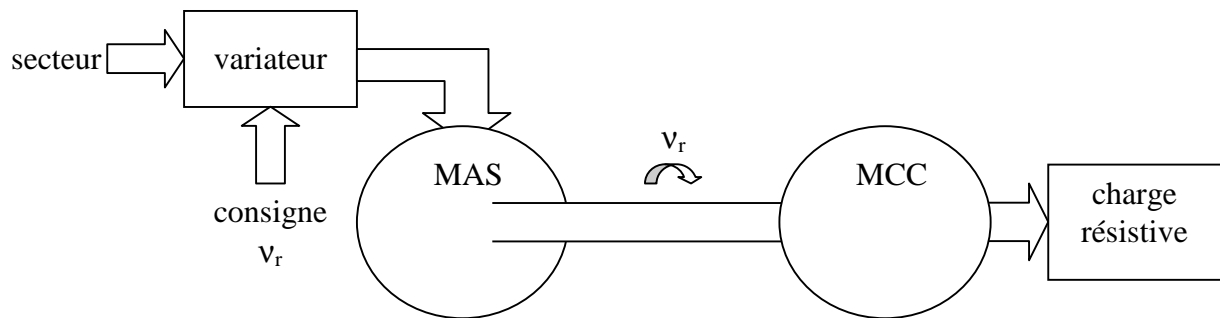
Comprendre la signification physique des outils classiques d'analyse spectrale d'un signal :

- **spectre de puissance (SP),**
- **densité spectrale de puissance (DSP),**

et les employer dans le cadre de l'analyse de signaux réels.

II. DESCRIPTION DES SIGNAUX

Tous les signaux que vous aurez à traiter par la suite sont des grandeurs physiques enregistrées sur un banc de commande vectorielle d'une machine asynchrone représenté sur la figure suivante :



Ce banc est constitué d'une machine asynchrone (MAS) triphasée fonctionnant en moteur, alimentée par un variateur. Elle est couplée à une machine à courant continu (MCC) débitant sur une charge résistive, et faisant office de charge mécanique.

Il est à noter que la consigne de commande du variateur est la fréquence de rotation désirée v_r . De plus, ce dernier fonctionne en modulation de largeur d'impulsion (MLI) vectorielle, avec une fréquence de modulation de $v_{mli} = 5$ kHz.

Les deux signaux utilisés dans ce BE représentent respectivement un des trois courants statoriques de la MAS, ainsi que les vibrations radiales de sa carcasse statorique en un point. Ils ont été mesurés par un capteur de courant et un accéléromètre, puis filtrés par un filtre passe-bas afin d'éviter tout repliement de spectre. Le courant statorique a été échantillonné à une fréquence d'échantillonnage $v_e = 16384$ Hz, et les vibrations statoriques à $v_e = 12300$ Hz.

III. ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

Vous allez travailler sous le logiciel de programmation Matlab en ligne de commande. Afin d'estimer la grandeur spectrale de votre choix (SP ou DSP), vous pourrez utiliser la fonction « permoy » développée pour ce BE, dont le mode d'emploi est donné en annexe.

Une fois cette commande effectuée correctement, vous pourrez visualiser dans une figure la grandeur spectrale s que vous avez estimé par la commande « `plot(f,s)` ».

Bon travail !!

IV. ANALYSE SPECTRALE D'UN SIGNAL DE COURANT STATORIQUE

IV.1 Objectif

L'objectif est ici de mesurer précisément les composantes spectrales du signal de courant statorique absorbé par la machine asynchrone afin d'avoir une idée de la pollution harmonique générée par un tel système. Ce problème est donc typiquement un problème d'analyse spectrale, que vous allez essayer de résoudre au mieux dans cette partie.

Chargez en mémoire le signal par la commande « `load signalcrt.mat` », ce qui rend disponible :

- le signal de courant dont les 65535 échantillons (valeurs en Ampères) sont contenus dans le vecteur « `crt` ».
- sa fréquence d'échantillonnage dont la valeur en Hertz est dans la variable « `fe` ».

Vous pouvez afficher l'allure temporelle de ce signal par la commande « `plot(crt)` ». Les abscisses sont alors le numéro des échantillons du signal.

Ce signal étant très peu bruité, vous allez estimer son spectre de puissance à l'aide du périodogramme moyenné en partant de la configuration initiale suivante : fenêtre rectangulaire de longueur N , décalage de 100%, pas de suréchantillonnage. Sous Matlab, ceci devient :

```
[s,f]=permoy(crt,boxcar(N),100,N,fe,'SP');
```

Vous améliorerez progressivement l'estimation de ce spectre de puissance en réglant au mieux les divers paramètres de la fonction. La première étape est de régler correctement la taille N des blocs.

IV.2 Réglage de la taille N des blocs

Une manière de résoudre ce problème est de régler N en fonction de la résolution spectrale désirée. Aidez-vous du fait que dans ce signal, une composante très importante que l'on doit voir apparaître sans aucun problème est le fondamental, situé aux alentours de 30 Hz.

IV.3 Mesure précise des paramètres du fondamental (fréquence et amplitude)

Comparez la mesure de la fréquence et de l'amplitude du fondamental sans puis avec zero-padding. Intérêt ?

IV.4 Échelle logarithmique

Affichez le spectre de puissance en dB à l'aide de la commande « `plot(f,10*log10(s))` ». Interprétez le résultat sachant que l'échelle logarithmique dilate les petites composantes et écrase les grandes.

IV.5 Influence des fenêtres de pondération

Comparez les spectres obtenus en employant diverses fenêtres de pondération (rectangulaire, Hanning, Blackman). Intérêt ?

Conclusion générale sur la pollution harmonique de ce système :

- quelles sont les perturbations importantes ?
- quelle est la plage fréquentielle la plus polluée ?
- origine de cette pollution ?

V. ANALYSE SPECTRALE D'UN SIGNAL DE VIBRATIONS STATORIQUES

V.1 Objectif

L'objectif de ce travail est d'étudier la discrétion acoustique du système précédent. En effet, lors de son fonctionnement les vibrations de la carcasse statorique de la machine asynchrone vont engendrer des bruits acoustiques aux mêmes fréquences qui peuvent être gênants pour les personnes proches. Une manière de quantifier cette gêne est de mesurer la puissance des vibrations statoriques dans la plage de fréquence où l'oreille humaine est la plus sensible, c'est à dire de 2 à 6 kHz. Ce problème est donc typiquement un problème d'analyse spectrale, que vous allez essayer de résoudre au mieux dans cette partie.

Chargez en mémoire le signal par la commande « `load signalvib.mat` ». Vous avez alors accès aux échantillons du signal vibratoire (vecteur « `vib` », unités = m/s²), ainsi qu'à sa fréquence d'échantillonnage (variable « `fe` » exprimée en Hertz).

Le plus simple pour mesurer une puissance dans une bande de fréquence est d'estimer la densité spectrale de puissance du signal à l'aide du périodogramme moyenné, puis de l'intégrer dans la bande de fréquence considérée. Vous allez pour cela utiliser les améliorations vues dans la partie précédente, c'est à dire une fenêtre de Hanning de longueur N et l'utilisation du suréchantillonnage. Sous Matlab, ceci devient :

```
[s,f]=permoy(vib,hanning(N),100,16*N,fe,'DSP');
```

Il ne reste plus qu'à fixer la taille des blocs correctement.

À vous de jouer...

V.2 Réglage de la taille N des blocs

- utilisation de la résolution spectrale

Dans un premier temps et comme dans la partie IV.2, on règle N en fonction de la résolution spectrale désirée. Dans cette expérimentation, on sait que la fréquence de rotation se situe autour de 12 Hz. Réglez N de telle sorte que cette composante ressorte correctement. Que pensez-vous de la variance d'estimation obtenue ?

- compromis résolution/variance

Afin de diminuer la variance d'estimation, il faut tout d'abord diminuer le décalage entre blocs successifs. Si cela n'est pas suffisant, il faut ensuite diminuer N au détriment de la résolution spectrale.

Estimer la DSP de ce signal vibratoire d'une manière qui vous semble un bon compromis entre variance et résolution, et donnez la valeur de N correspondante.

V.3 Mesure de la puissance du signal dans une bande de fréquence

Mesurez la puissance du signal vibratoire entre 2 et 6 kHz à l'aide de la DSP que vous venez d'estimer.

Quel pourcentage de la puissance totale cela représente-t-il ?

Conclusion générale sur la discrétion acoustique de ce système :

- vous semble-t-elle importante ?
- pouvez-vous proposer des solutions afin de l'améliorer ?

ANNEXES. Mode d'emploi de la fonction `permoy`

La fonction « `permoy` » s'utilise en ligne de commande de la manière suivante :

```
[s,f]=permoy(sig,fen,dec,Nfft,fe,norm);
```

Ses paramètres d'entrée/sortie sont les suivants :

- Entrées

`sig` : échantillons du signal à analyser
`fen` : fenêtre de pondération appliquée à chaque bloc,
sa longueur `N` fixant la taille des blocs,
les plus courantes étant `boxcar(N)`, `hanning(N)`, `blackman(N)`
`dec` : décalage entre deux blocs consécutifs (min=0%, max=100%)
`Nfft` : taille de la TFD (zero-padding si `Nfft>N`)
`fe` : valeur de la fréquence d'échantillonnage en Hertz
`norm` : facteur de normalisation
`norm='DSP'` → densité spectrale de puissance en unités²/Hz (défaut)
`norm='SP'` → spectre de puissance en unités²

- Sorties

`s` : grandeur spectrale estimée (SP ou DSP, en fonction de la valeur de `norm`)
`f` : vecteur fréquence en Hertz

Vous pouvez retrouver ces informations sous Matlab par la commande « `help permoy` », ou en éditant le fichier `permoy.m`.