



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



Modélisation de la machine asynchrone à cage. Application à la simulation de moteurs à cage défaillante. Spectres des courants des moteurs défaillants.

H. Razik

Hubert.Razik@green.uhp-nancy.fr

résumé :

Nous développons dans cette présentation la modélisation de la machine asynchrone triphasée à rotor bobiné. On pourra envisager la simulation et la défaillance du rotor. Une approche par l'analyse du spectre du courant est proposée.

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 1 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

1. Préambule

Commençons par quelques extraits typiques de conversations :

"La machine asynchrone est la plus fiable des machines électriques, la plus robuste de sa génération, la moins coûteuse à la fabrication ..."

"Serait-elle la machine de l'avenir ?"

Ces propos sont classiquement tenus lors de réunions entre collègues, et amplement répandus dans notre communauté "électrotechnicienne". Cependant, il n'est pas exclu qu'il peut y apparaître des défauts tant au niveau du stator que du rotor. Le diagnostic et la détection de défauts mobilisent à ce jour beaucoup de chercheurs dans ce domaine, engendrant au niveau national la mise en place de groupes de travail sur la modélisation et le diagnostic.

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 2 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

Les défauts typiques des machines asynchrones, de fortes puissances, sont :

- un défaut au niveau du rotor qui serait une rupture totale ou partielle d'une barre au niveau de l'anneau de la cage d'écureuil, une rupture d'une portion d'anneau,
- un défaut de contact balai - bague dans le cas d'un rotor bobiné,
- un défaut d'alignement prononcé par une irrégularité de l'entrefer qui induirait des frottements, donc des préjudices sur le bobinage du stator,
- un défaut d'isolation électrique au niveau du bobinage du stator suite à un vieillissement prématuré du au milieu de fonctionnement hostile ou non et à la façon dont est alimenté le moteur,
- une dégradation par usure prématurée ou non des roulements à billes.

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 3 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

2. Modèle de la machine asynchrone triphasée à rotor bobiné

Les **hypothèses** couramment posées sont :

- pas de **saturation** du circuit magnétique,
- l'**hystérésis** et les courants de **Foucault** sont négligeables,
- pas de phénomène d'**effet de peau**,
- l'entrefer est d'**épaisseur uniforme**.

De plus on considérera que la force magnétomotrice, créée par les enroulements statoriques et rotoriques, est à répartition **sinusoïdale** le long de l'entrefer.

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 4 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

Avec ces hypothèses, les équations en tensions des trois phases statoriques et des trois phases rotoriques s'écrivent alors :

$$\begin{aligned}
 v_A &= R_s \cdot i_A + \frac{d}{dt} \lambda_A & v_a &= R_r \cdot i_a + \frac{d}{dt} \lambda_a & (1) \\
 v_B &= R_s \cdot i_B + \frac{d}{dt} \lambda_B & v_b &= R_r \cdot i_b + \frac{d}{dt} \lambda_b \\
 v_C &= R_s \cdot i_C + \frac{d}{dt} \lambda_C & v_c &= R_r \cdot i_c + \frac{d}{dt} \lambda_c
 \end{aligned}$$

- v_A, v_B, v_C sont les tensions appliquées aux trois phases statoriques,
- v_a, v_b, v_c sont les tensions des trois phases rotoriques,
- $\lambda_A, \lambda_B, \lambda_C, \lambda_a, \lambda_b, \lambda_c$ sont les flux totaux à travers les enroulements statoriques et rotoriques,
- les indices A, B, C font références au stator et les indices a, b, c au rotor.

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 5 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

Des équations précédentes, il en résulte que :

$$\begin{aligned} [v_s] &= [R_s][i_s] + \frac{d\{[L_s][i_s]\}}{dt} + \frac{d\{[M_{sr}][i_r]\}}{dt} \\ [v_r] &= [R_r][i_r] + \frac{d\{[M_{rs}][i_s]\}}{dt} + \frac{d\{[L_r][i_r]\}}{dt} \end{aligned} \quad (2)$$

car : $[\lambda] = [L][I]$.

$$\begin{aligned} [V] &= [R][I] + \frac{d([L][I])}{dt} \\ [V] &= [R][I] + [I] \cdot \frac{d[L]}{dt} + [L] \cdot \frac{d[I]}{dt} \\ [V] &= [R][I] + [I] \cdot \frac{d[\theta]}{dt} \cdot \frac{d[L]}{d\theta} + [L] \cdot \frac{d[I]}{dt} \\ [V] &= [R][I] + [I] \cdot \Omega_r \cdot \frac{d[L]}{d\theta} + [L] \cdot \frac{d[I]}{dt} \end{aligned} \quad (3)$$

Les équations mécaniques donnent :

$$J_t \frac{d\Omega_r}{dt} + f_v \Omega_r = C_e - C_r \quad \Omega_r = \frac{d\theta}{dt} \quad (4)$$

avec :

$$C_e = \frac{1}{2} \cdot [I]^t \cdot \frac{d[L]}{d\theta} \cdot [I] \quad (5)$$

- J_t : représente l'inertie totale ramenée à l'arbre moteur,
- Ω_r : la vitesse de rotation de la machine,
- $[I] = [i_A \ i_B \ i_C \ i_a \ i_b \ i_c]^t$: le vecteur courant,
- f_v : le couple de frottement visqueux,
- C_e : le couple électromagnétique,
- C_r : le couple résistant appliqué à la machine,
- θ : la position du rotor par rapport au stator.

Ces équations peuvent être regroupées sous une forme "matricielle" tel que :

$$\begin{bmatrix} [V] \\ -C_r \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left([R] + \Omega_r \frac{d[L]}{d\theta} \right) & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} [I]^t \frac{d[L]}{d\theta} & f_v & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [I] \\ \Omega_r \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [L] & 0 & 0 \\ 0 & J_t & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [\dot{I}] \\ \dot{\Omega}_r \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Une forme condensée est obtenue sous l'écriture suivante :

$$[U] = [B] [X] + [A] [\dot{X}] \quad (7)$$

où le vecteur $[\dot{X}]$ peut s'écrire :

$$[\dot{X}] = [A]^{-1} ([U] - [B] [X]) \quad (8)$$

où encore :

$$[\dot{X}] = [A]^{-1} [U] - [A]^{-1} [B] [X] \quad (9)$$

où $[U]$ le vecteur de commande a pour expression :

$$[U] = ([V] [-C_r] [0])^t \quad (10)$$

et le vecteur d'état est constitué de :

$$[X] = ([I] [\Omega_r] [\theta])^t \quad (11)$$

La matrice $[A]$ obtenue s'écrit sous la forme :

$$[A] = \begin{bmatrix} [L_{ss}] & [M_{sr}] & 0 & 0 \\ [M_{rs}] & [L_{rr}] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & J_t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre

◀◀

▶▶

◀

▶

Page 9 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

La matrice $[A]$ est dépendante de l'angle rotorique et il nous faudra l'actualiser pour ensuite l'inverser à chaque pas de calcul lors de la simulation.

Les diverses matrices constituant $[A]$ sont :

$$[L_{ss}] = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix} \quad (13)$$

- $[L_{ss}]$: matrice spécifique au stator comprenant,
- L_s : inductance propre d'un enroulement statorique,
- M_s : inductance mutuelle entre deux enroulements statoriques.

$$[L_{rr}] = \begin{bmatrix} L_r & M_r & M_r \\ M_r & L_r & M_r \\ M_r & M_r & L_r \end{bmatrix} \quad (14)$$

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 10 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

- $[L_{rr}]$: matrice spécifique au rotor comprenant,
- L_r : inductance propre d'un enroulement rotorique,
- M_r : inductance mutuelle entre deux enroulements rotoriques.

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^t \begin{bmatrix} M_{sr} f_1 & M_{sr} f_2 & M_{sr} f_3 \\ M_{sr} f_3 & M_{sr} f_1 & M_{sr} f_2 \\ M_{sr} f_2 & M_{sr} f_3 & M_{sr} f_1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

où :

$$\begin{aligned} f_1 &= \cos(p.\theta) \\ f_2 &= \cos(p.\theta + 2 * \pi/3) \\ f_3 &= \cos(p.\theta - 2 * \pi/3) \end{aligned} \quad (16)$$

avec p le nombre de paire de pôle de la machine asynchrone.

En considérant le cas où le stator et le rotor ont le même nombre de spires en série par phase, que les bobinages sont identiques

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 11 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

et que le moteur asynchrone est connecté en étoile au réseau électrique, il vient alors :

$$M_s = -\frac{1}{2}L_s = M_r = -\frac{1}{2}L_r \quad (17)$$

$$\begin{aligned} i_A + i_B + i_C &= 0 \\ i_a + i_b + i_c &= 0 \end{aligned} \quad (18)$$

En introduisant l'inductance cyclique $L_{sc} = 3/2L_s$, la matrice inductance $[L]$ de la machine asynchrone peut se réécrire sous la forme suivante :

$$\begin{bmatrix} L_{sc} & 0 & 0 & M_{sr}f_1 & M_{sr}f_2 & M_{sr}f_3 \\ 0 & L_{sc} & 0 & M_{sr}f_3 & M_{sr}f_1 & M_{sr}f_2 \\ 0 & 0 & L_{sc} & M_{sr}f_2 & M_{sr}f_3 & M_{sr}f_1 \\ M_{sr}f_1 & M_{sr}f_3 & M_{sr}f_2 & L_{rc} & 0 & 0 \\ M_{sr}f_2 & M_{sr}f_1 & M_{sr}f_3 & 0 & L_{rc} & 0 \\ M_{sr}f_3 & M_{sr}f_2 & M_{sr}f_1 & 0 & 0 & L_{rc} \end{bmatrix} \quad (19)$$

La matrice $[B]$ sera quant à elle:

$$[B] = \begin{bmatrix} [R_{vs}] & [\Omega_r \cdot \frac{d M_{sr}}{d \theta}] & 0 & 0 \\ [\Omega_r \cdot \frac{d M_{rs}}{d \theta}] & [R_r] & 0 & 0 \\ C_1 \dots & \dots C_6 & f_v & 0 \\ 0 \dots & \dots 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

D'autre part, les deux autres matrices contenues dans $[B]$ s'écrivent :

$$\left[\Omega_r \cdot \frac{d M_{sr}}{d \theta} \right] = \left[\Omega_r \cdot \frac{d M_{rs}}{d \theta} \right]^t = \begin{bmatrix} -M_{sr}g_1 & -M_{sr}g_2 & -M_{sr}g_3 \\ -M_{sr}g_3 & -M_{sr}g_1 & -M_{sr}g_2 \\ -M_{sr}g_2 & -M_{sr}g_3 & -M_{sr}g_1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

avec :

$$\begin{aligned} g_1 &= \Omega_r p \sin(p.\theta) \\ g_2 &= \Omega_r p \sin(p.\theta + 2 * \pi/3) \\ g_3 &= \Omega_r p \sin(p.\theta - 2 * \pi/3) \end{aligned} \quad (22)$$

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 13 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

Les éléments $C_1 \dots C_6$ contenus dans la matrice $[B]$, sont :

$$\begin{aligned}
 C_1 &= 0,5M_{sr.p} (i_a h_1 + i_b h_2 + i_c h_3) \\
 C_2 &= 0,5M_{sr.p} (i_a h_3 + i_b h_1 + i_c h_2) \\
 C_3 &= 0,5M_{sr.p} (i_a h_2 + i_b h_3 + i_c h_1) \\
 C_4 &= 0,5M_{sr.p} (i_A h_1 + i_B h_3 + i_C h_2) \\
 C_5 &= 0,5M_{sr.p} (i_A h_2 + i_B h_1 + i_C h_3) \\
 C_6 &= 0,5M_{sr.p} (i_A h_3 + i_B h_2 + i_C h_1)
 \end{aligned} \tag{23}$$

avec pour $h_1 \dots h_3$:

$$\begin{aligned}
 h_1 &= \sin(p.\theta) \\
 h_2 &= \sin(p.\theta + 2 * \pi/3) \\
 h_3 &= \sin(p.\theta - 2 * \pi/3)
 \end{aligned} \tag{24}$$

Voilà la description d'un modèle de la machine asynchrone triphasée à rotor bobiné en vue de la simulation de celui-ci. Ce modèle est adapté en cas ou non de défaillance au rotor.

3. Simulation avec le modèle présenté

Une fois le modèle de la machine asynchrone à rotor bobiné posé, nous pouvons aborder l'aspect lié à la simulation de celle-ci. Un programme écrit en langage C ou autre, permet de mettre en évidence le comportement du moteur asynchrone dans le cas où le rotor est sain ou dans le cas où le rotor est défaillant. Les tensions appliquées aux trois bobinages statoriques sont :

$$\begin{aligned}v_A &= 310 \sin(\omega_s t) \\v_B &= 310 \sin(\omega_s t - 2 * \pi/3) \\v_C &= 310 \sin(\omega_s t + 2 * \pi/3)\end{aligned}\quad (25)$$

où ω_s représente la pulsation des trois tensions appliquées.

Etant données que ces équations obtenues sont non linéaires et qu'une méthode numérique doit être mise en œuvre pour parvenir à la solution, nous avons choisi la méthode explicite et classique de Runge Kutta d'ordre 4 .

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre

◀◀

▶▶

◀

▶

Page 15 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

$$\begin{aligned}
K_1 &= F(X(t), t) \\
K_2 &= F\left(X(t) + K_1 \frac{\Delta t}{2}, t + \frac{\Delta t}{2}\right) \\
K_3 &= F\left(X(t) + K_2 \frac{\Delta t}{2}, t + \frac{\Delta t}{2}\right) \\
K_4 &= F(X(t) + K_2 \Delta t, t + \Delta t) \\
X(t + \Delta t) &= X(t) + \frac{K_1 + 2(K_2 + K_3) + K_4}{6} \Delta t
\end{aligned} \tag{26}$$

Le pas de simulation Δt dépend de $(-[A]^{-1}[B])$. Il faut évaluer le maximum Δt_{max} utilisable. Pour cela, on évalue la trace de la matrice issue de $[\dot{X}] = -[A]^{-1}[B][X] + [A]^{-1}[U]$

En prenant :

$$-[A]^{-1}[B] = \begin{bmatrix} \lambda_1 & x & \dots & y \\ h & \lambda_2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & z \\ k & \dots & n & \lambda_i \end{bmatrix} \tag{27}$$

la trace de cette matrice nous est donnée par : $\sum \lambda_i$

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre

◀◀

▶▶

◀

▶

Page 16 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

Soit : $\sum \lambda_i = \frac{1}{T_i}$, le pas de simulation sera alors :

$$\Delta t \leq \frac{1}{|\sum \lambda_i|} \quad (28)$$

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 17 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

4. Simulation avec un rotor sain

Lors de la simulation du modèle, pour observer le bon comportement de celui-ci, un couple de $10N.m$ a été soumis à la machine à l'instant $t = 2$ secondes, ce couple de $10N.m$ représente le couple nominal de la machine réelle étudiée. La simulation du modèle du moteur asynchrone avec un rotor sain nous donne pour la vitesse la courbe représentée en Figure 4, pour le couple électromagnétique en Figure 3 et pour les courants statoriques et rotoriques en Figures 1 et 2. Ces relevés correspondent bien à un fonctionnement normal d'un moteur asynchrone en charge. Nous allons maintenant nous intéresser à ce même modèle mais lorsque le rotor présente une défaillance rotorique. Ainsi nous traduirons cela par l'élévation de la résistance d'un des enroulements rotoriques d'un facteur inférieur à 10 %. Cette défaillance sera créée à l'instant $t = 4$ secondes.

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 18 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

Les paramètres, en vue de la simulation, du moteur asynchrone à rotor bobiné sont:

Lsp	=	0,397 H	Inductance principale statorique
Lrp	=	0,397 H	Inductance principale rotorique
lsl	=	0,009594 H	Inductance de fuite statorique
lrl	=	0,009594 H	Inductance de fuite rotorique
Msr	=	0,3953 H	Inductance mutuelle stator-rotor
Lsc	=	1,5*Lsp+lsl	Inductance cyclique stator
Lrc	=	1,5*Lrp+lrl	Inductance cyclique rotor
p	=	1	nombre de paire de pole
Jt	=	0,023976 Kg.m ²	Moment d'inertie de la machine
Rs	=	2,86 Ω	Résistance statorique
Rr	=	2,756 Ω	Résistance rotorique
fv	=	0,0014439 Nm/rad/s	frottement visqueux

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre

◀◀

▶▶

◀

▶

Page 19 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

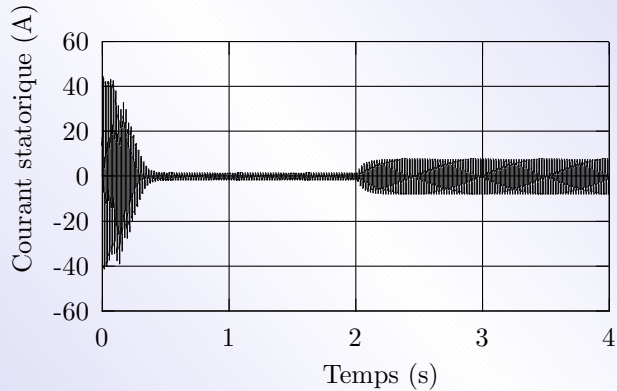


Figure 1: Courant statorique, moteur sain

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 20 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

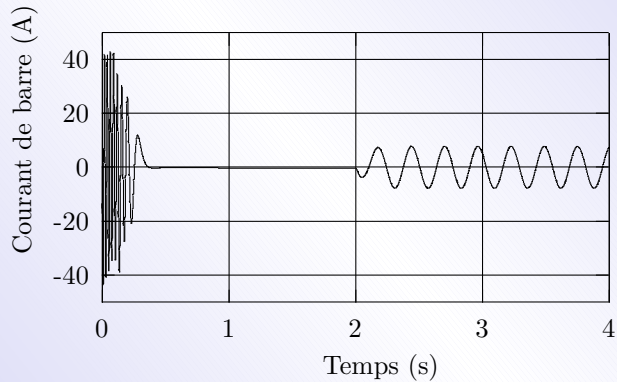


Figure 2: Courant rotorique, moteur sain

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 21 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

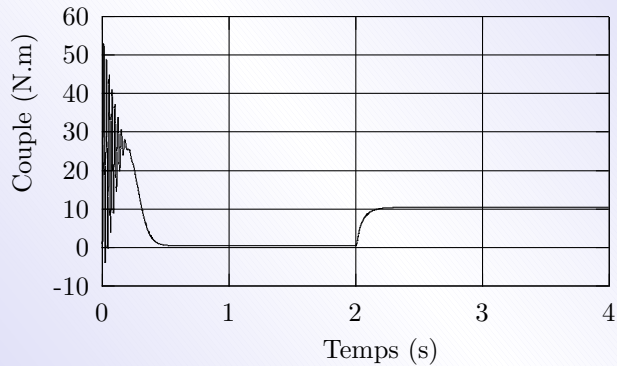


Figure 3: Couple électromécanique, moteur sain

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre

◀◀

▶▶

◀

▶

Page 22 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

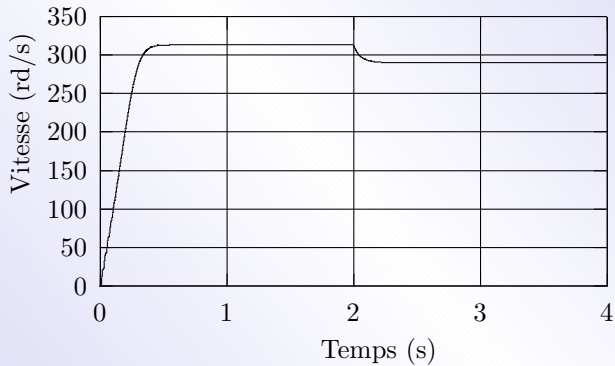


Figure 4: Vitesse de rotation, moteur sain

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 23 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

5. Simulation avec un rotor défaillant

La courbe de la vitesse nous est donnée Figure 8, celle du courant statorique et rotorique Figure 5-6 et celle du couple électromagnétique Figure 7 lorsque le rotor présente une défaillance. Nous observons sur la courbe du courant statorique des ondulations dues au défaut survenu sur l'enroulement rotorique. Nous pouvons aisément en conclure que l'analyse directe de l'amplitude du courant est difficile et qu'il est par conséquent conseillé ou plus judicieux de traiter le signal afin d'en ressortir des données plus représentatives. C'est donc en utilisant la transformée de Fourier Rapide (FFT) que nous allons pouvoir mettre en évidence des critères plus représentatifs telles que l'apparition de raies de fréquences $(1 \pm 2kg)f_s$ à proximité du fondamental.

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre

◀◀

▶▶

◀

▶

Page 24 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

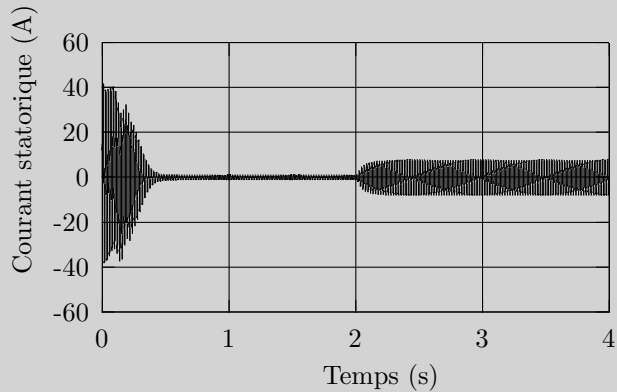


Figure 5: Courant statorique, moteur défaillant

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 25 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

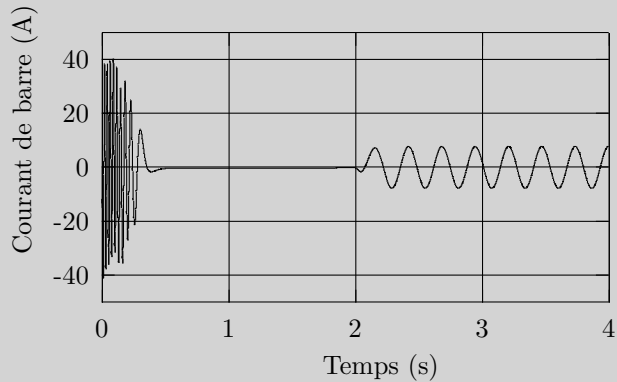


Figure 6: Courant rotorique, moteur défaillant

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 26 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

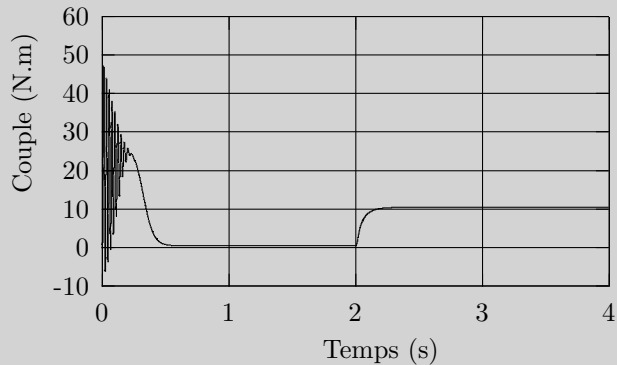


Figure 7: Couple électromécanique, moteur défaillant

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 27 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

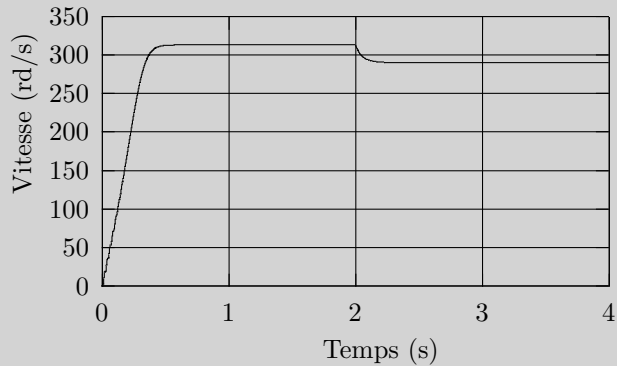


Figure 8: Vitesse de rotation, moteur défaillant

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 28 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

6. Analyse FFT du courant statorique

Grâce à l'analyse spectrale du courant statorique, nous pourrons observer les raies présentes autour du fondamental dont les fréquences correspondent à la relation mathématique :

$$(1 \pm 2.k.g) f_s \quad (29)$$

Conditions d'utilisation :

- résolution spectral : durée d'acquisition T (20 s),
- plage d'analyse : fréquence d'acquisition F (2,5 kHz),
- une fenêtre ?

La résolution fréquentielle est inversement proportionnelle à la durée d'acquisition.

Il faut veiller au problème du repliement spectral.

Il faut utiliser une fenêtre pour obtenir un spectre plus réel.

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 29 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

6.1. Les fonctions de pondération

La fenêtre Rectangulaire a pour équations:

$$W(n) = 1 \text{ pour } 0 \leq n \leq N \quad (30)$$

où n représente le numéro de l'échantillon et N le nombre d'échantillon du signal.

Attention, il ne faut pas uniquement s'en contenter.

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 30 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

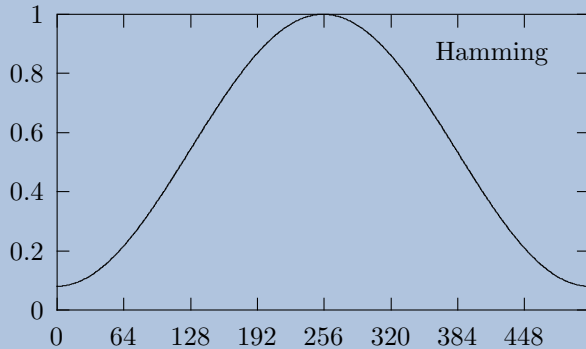


Figure 9: Fenêtre de Hamming

La fenêtre de Hamming a pour équations :

$$W(n) = 0,54 - 0,46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \text{ pour } 0 \leq n \leq N-1 \quad (31)$$

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 31 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

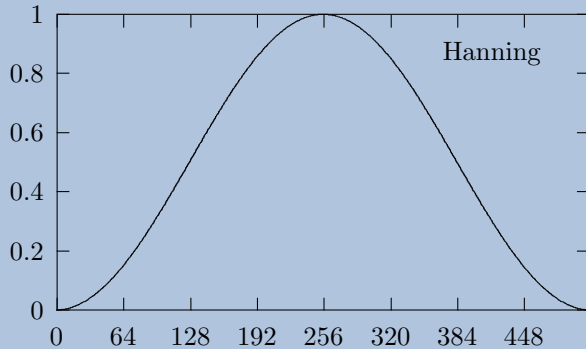


Figure 10: Fenêtre de Hanning

La fenêtre de Hanning a pour équations :

$$W(n) = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi n}{N-1} \right) \right) \quad (32)$$

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 32 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

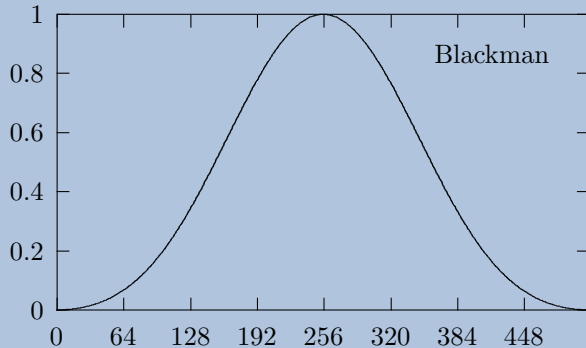


Figure 11: Fenêtre de Blackman

La fenêtre de Blackmann a pour équations :

$$W(n) = 0,42 - 0,5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) + 0,08 \cos\left(\frac{4\pi n}{N-1}\right) \quad (33)$$

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 33 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

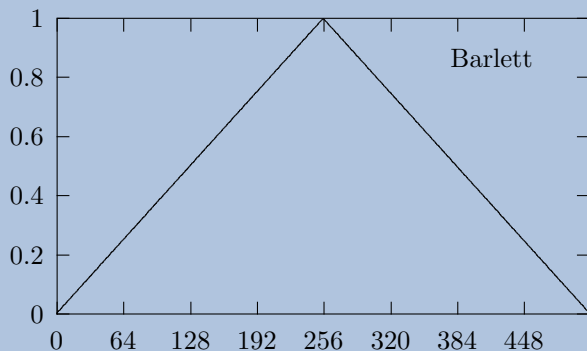


Figure 12: Fenêtre de Barlett

La fenêtre de Bartlett a pour équations:

$$\begin{aligned}
 W(n) &= \frac{2n}{N-1} && \text{pour } 0 \leq n \leq \frac{N-1}{2} \\
 W(n) &= 2 - \frac{2n}{N-1} && \text{pour } \frac{N-1}{2} \leq n \leq N-1
 \end{aligned} \quad (34)$$

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 34 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

La fenêtre de Kaiser a pour équations :

$$W(n) = \frac{I_0\left(\beta\sqrt{1 - (1/N)^2}\right)}{I_0(\beta)} \quad (35)$$

où I_0 est la fonction de Bessel modifiée d'ordre 0 dont on évalue par :

$$I_0 = 1 + \sum_{m=1}^M \left(\frac{(x/2)^m}{m!}\right)^2$$

avec généralement $M = 14$.

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 35 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

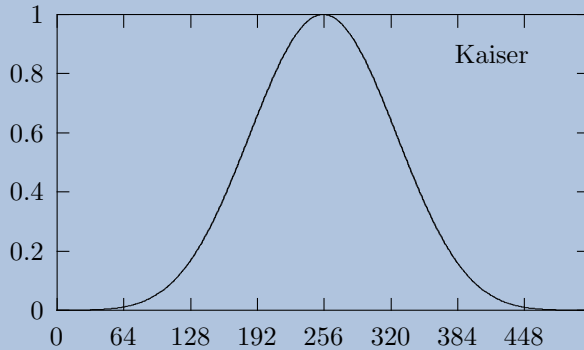


Figure 13: Fenêtre de Kaiser

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 36 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

7. spectre sain

La fenêtre de Rectangulaire pour un moteur sain :

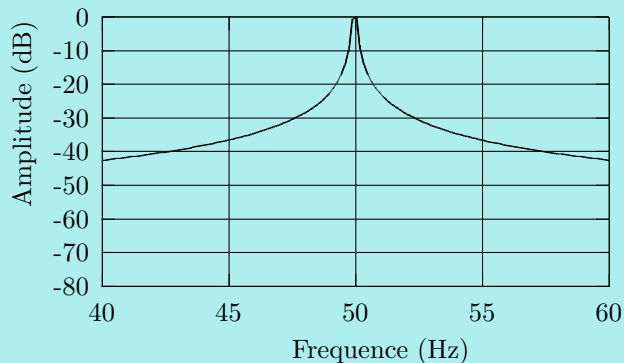


Figure 14: Spectre, moteur sain, fenêtre rectangulaire.

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 37 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

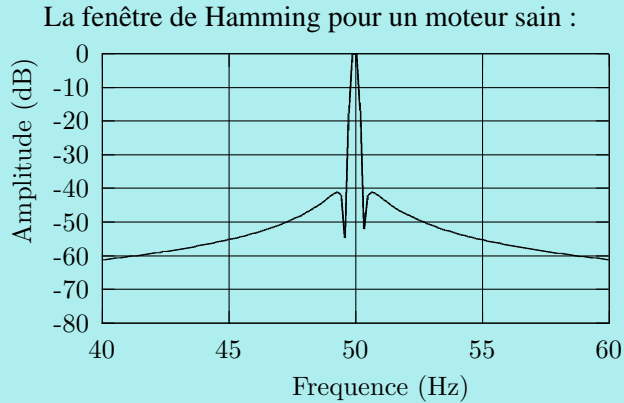


Figure 15: Spectre, moteur sain, fenêtre de Hamming

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 38 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

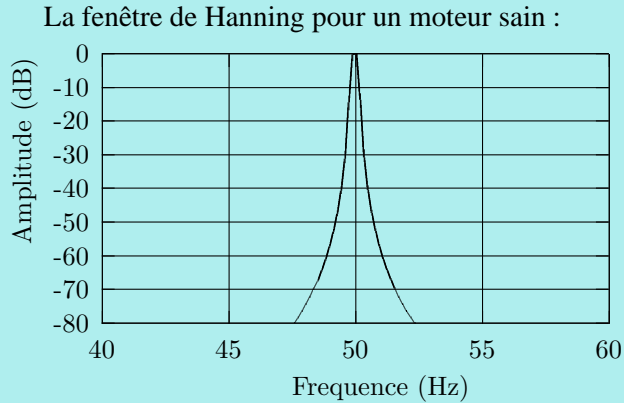


Figure 16: Spectre, moteur sain, fenêtre de Hanning

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 39 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

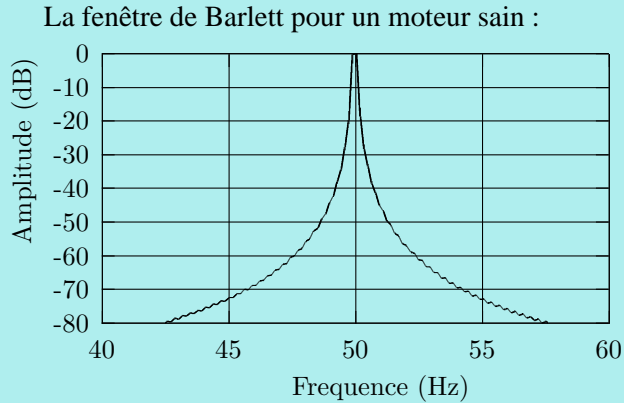


Figure 17: Spectre, moteur sain, fenêtre de Barlett

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 40 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

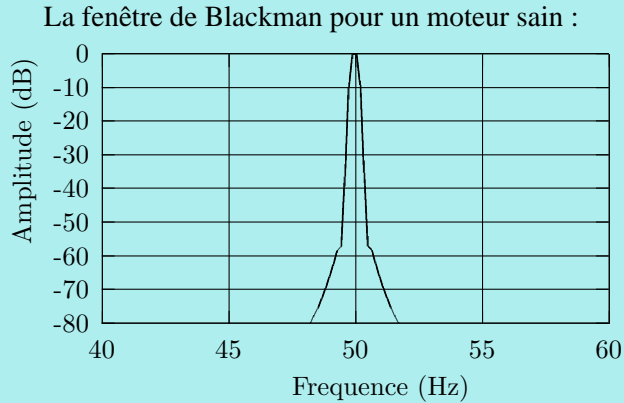


Figure 18: Spectre, moteur sain, fenêtre de Blackman

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 41 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

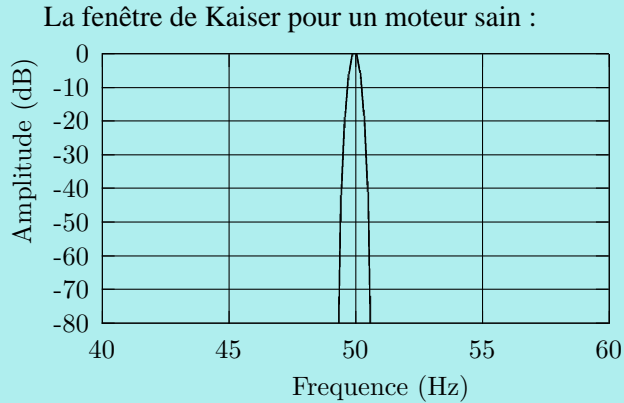


Figure 19: Spectre, moteur sain, fenêtre de Kaiser

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 42 de 50

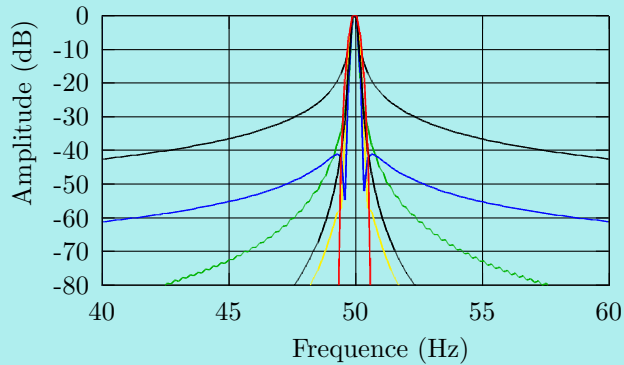
Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

La totale pour un moteur sain :



Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 43 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

8. spectre défaillant

La fenêtre de Rectangulaire pour un moteur défaillant :

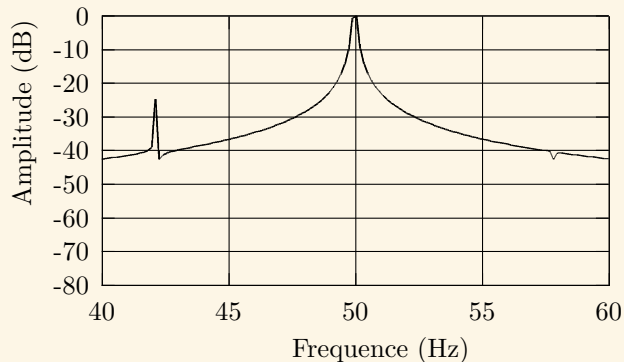


Figure 20: Spectre, moteur défaillant, fenêtre rectangulaire.

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre

◀◀

▶▶

◀

▶

Page 44 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

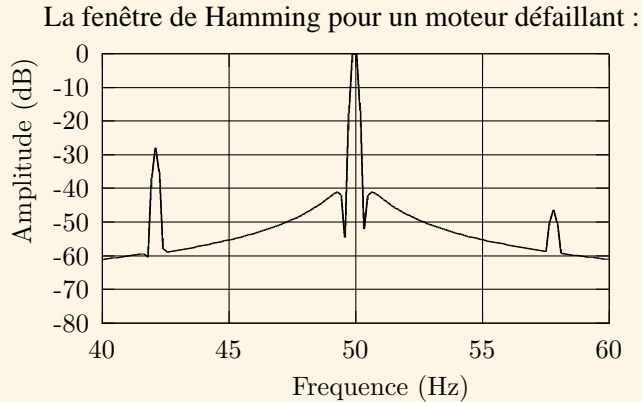


Figure 21: Spectre, moteur défaillant, fenêtre de Hamming

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 45 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

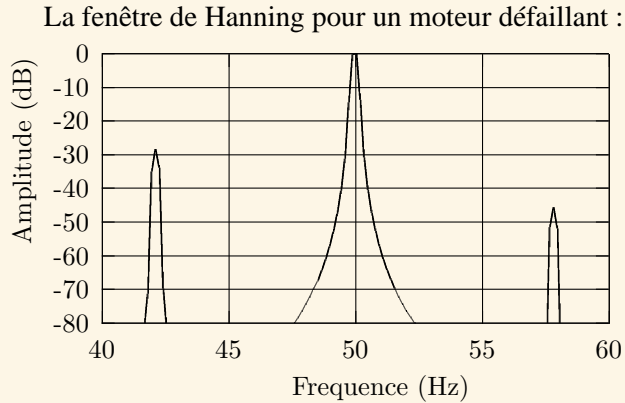


Figure 22: Spectre, moteur défaillant, fenêtre de Hanning

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 46 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

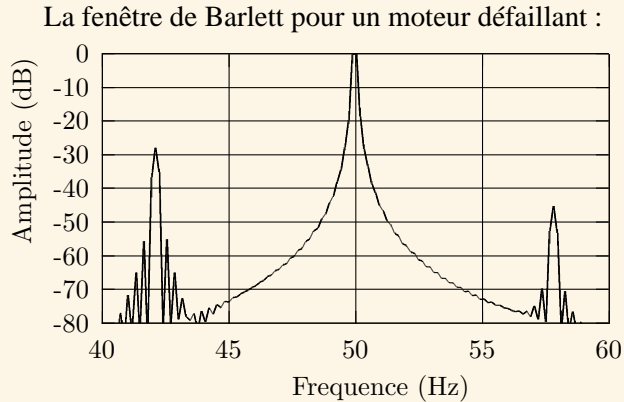


Figure 23: Spectre, moteur défaillant, fenêtre de Barlett

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 47 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

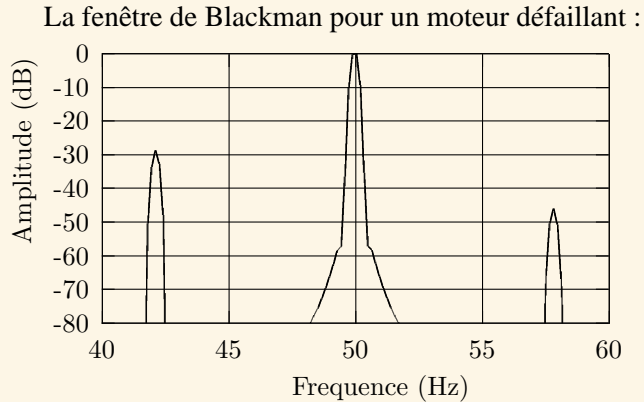


Figure 24: Spectre, moteur défaillant, fenêtre de Blackman

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 48 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter

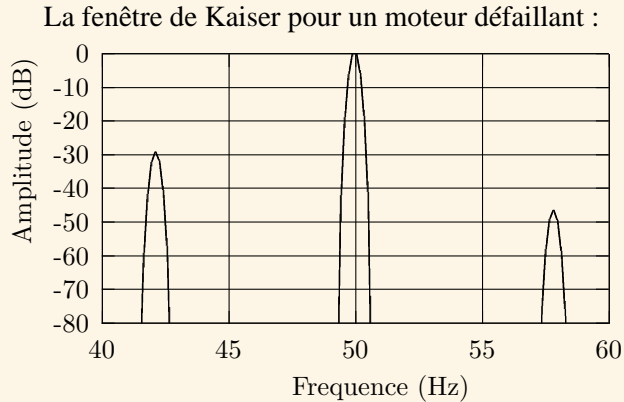


Figure 25: Spectre, moteur défaillant, fenêtre de Kaiser

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



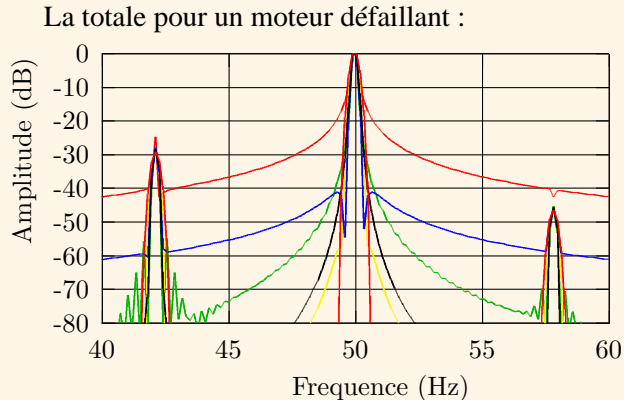
Page 49 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter



Pour plus d'informations, il faudra se reporter aux articles parues dans la revue 3EI (numéro 27 et 29).

Que soit remercié ici la participation active de M. Gaëtan Didier à la réalisation de ce document.

Préambule

Modèle de la ...

Simulation avec le ...

Simulation avec un ...

Simulation avec un ...

Analyse FFT du ...

spectre sain

spectre défaillant

Page d'accueil

Page de Titre



Page 50 de 50

Retour

Full Screen

Fermer

Quitter