

(19)



(11)

EP 1 931 868 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
17.04.2013 Bulletin 2013/16

(51) Int Cl.:
F02D 41/00 ^(2006.01) **F02D 41/14** ^(2006.01)
F02D 41/34 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **06808149.6**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2006/002127

(22) Date de dépôt: **18.09.2006**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2007/034057 (29.03.2007 Gazette 2007/13)

(54) **METHODE D'ESTIMATION DU REGIME INSTANTANE PRODUIT PAR CHACUN DES CYLINDRES D'UN MOTEUR A COMBUSTION INTERNE**

VERFAHREN ZUR SCHÄTZUNG DER VON JEDEM ZYLINDER EINES VERBRENNUNGSMOTORS ERZEUGTEN MOMENTANEN GESCHWINDIGKEIT

METHOD FOR ESTIMATING INSTANTANEOUS SPEED PRODUCED BY EACH OF THE CYLINDERS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(84) Etats contractants désignés:
DE GB IT

(30) Priorité: **20.09.2005 FR 0509624**

(43) Date de publication de la demande:
18.06.2008 Bulletin 2008/25

(73) Titulaire: **Institut Français du Pétrole**
92852 Rueil Malmaison Cedex (FR)

(72) Inventeurs:
 • **PETIT, Nicolas**
F-92330 Sceaux (FR)

- **ROUCHON, Pierre**
F-92190 Meudon (FR)
- **CHAUVIN, Jonathan**
F-92200 Neuilly-sur-Seine (FR)
- **CORDE, Gilles**
F-92270 Bois-Colombes (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 985 919 EP-A- 1 559 898
DE-A1- 10 017 107 US-A- 5 771 482
US-A- 6 085 143 US-A1- 2003 167 118

EP 1 931 868 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

5 [0001] La présente invention concerne une méthode pour estimer en temps réel le régime instantané produit par chacun des cylindres d'un moteur à combustion interne à partir du capteur de régime instantané située au bout de la transmission.

[0002] La connaissance du régime instantané pour chaque cylindre permet d'estimer le couple moyen produit par chaque cylindre.

10 **État de la technique**

[0003] L'estimation du couple moyen produit par chaque cylindre est importante pour tous les véhicules, qu'ils soient à motorisation essence ou à motorisation diesel. Dans le premier cas, elle conditionne une bonne combustion du mélange lorsque la richesse est proche de un, et donc sensible à des problèmes de différence cylindre à cylindre. Dans le second cas, l'intérêt de la connaissance du couple permet un rééquilibrage pour obtenir un fonctionnement optimum. En particulier, les catalyseurs utilisant un piège à NOx perdent de leur efficacité avec le temps. Afin de revenir à une efficacité optimale, le couple de chacun des cylindres doit être maintenue identique pendant quelques secondes, pour revenir ensuite en fonctionnement normal à un mélange pauvre. La dépollution par catalyse DeNOx nécessite donc un pilotage précis du couple cylindre par cylindre.

20 [0004] Pour ce faire, un capteur de régime instantané est placé au bout de la transmission. Cette mesure est très déformée par la transmission et est bruitée.

[0005] Afin de contrôler d'une manière plus précise, et surtout individuelle, l'injection des masses de carburant dans les cylindres, une reconstruction du couple cylindre à cylindre est indispensable. L'implantation d'un couplomètre numérique sous chaque cylindre est impensable sur véhicule étant donné leur prix de revient.

25 [0006] La méthode selon l'invention propose de définir un estimateur fonctionnant à partir de la mesure en bout de la chaîne de transmission pour estimer le régime instantané sous chacun des cylindres.

La méthode selon l'invention

30 [0007] L'invention concerne une méthode pour estimer en temps réel le régime instantané produit par chacun des cylindres d'un moteur à combustion interne comprenant au moins un système de transmission relié aux cylindres et un capteur qui réalise en temps réel une mesure (x_1) du régime instantané en bout dudit système de transmission.

[0008] La méthode comporte les étapes suivantes :

35 a) on construit un modèle physique représentant en temps réel la dynamique dudit système de transmission en fonction : de ladite mesure (x_1), de coefficients d'une décomposition en série de Fourier dudit régime instantané produit par chacun des cylindres, et en fonction d'un amortissement et d'une fréquence propre caractérisant ledit système de transmission ;

b) on détermine en temps réel les coefficients de ladite décomposition en série de Fourier en couplant ledit modèle avec un estimateur non linéaire de type adaptatif ;

40 c) on réalise une estimation en temps réel du régime instantané produit par chacun des cylindres, à partir desdits coefficients de Fourier.

[0009] On peut également estimer en temps réel le couple moyen de chacun des cylindres à partir de l'estimation de ces coefficients.

45 [0010] La méthode selon l'invention peut être appliquée à un contrôle moteur pour adapter les masses de carburant injectées dans chacun des cylindres, afin de régler le couple moyen produit par chacun des cylindres.

[0011] D'autres caractéristiques et avantages de la méthode selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description ci-après d'exemples non limitatifs de réalisations, en se référant aux figures annexées et décrites ci-après.

50 **Présentation succincte des figures**

[0012]

55 - la figure 1 illustre l'estimation du régime instantané sous les cylindres par la méthode selon l'invention, sur un point de fonctionnement de 1250tr/min moyenne charge.

- la figure 2 illustre l'estimation du couple moyen cylindre à cylindre par la méthode selon l'invention, sur un point de fonctionnement de 1500tr/min.

Description détaillée de la méthode

[0013] La méthode selon l'invention permet d'estimer le régime instantané produit par chacun des cylindres d'un moteur à combustion interne comprenant au moins un système de transmission relié aux cylindres. En bout de ce système de transmission, un capteur réalise en temps réel une mesure du régime instantané. Ce signal est noté x_1 . Une mesure du régime instantané sous les cylindres déformée par l'arbre de transmission est donc réalisée. La première étape de l'invention consiste donc à « inverser » les effets de la transmission pour obtenir l'information pertinente, c'est-à-dire le régime instantané produit par chacun des cylindres. Cette information pertinente est un signal périodique que l'on note x_0 .

[0014] La méthode comporte principalement les quatre étapes suivantes :

- 1- on établit, dans une échelle angulaire (c'est-à-dire en fonction de l'angle vilebrequin et non du temps), un modèle physique représentant en temps réel la dynamique du système de transmission ;
- 2- on caractérise le régime instantané produit par chacun des cylindres, par des paramètres quasi invariants au cours du temps, tels que les coefficients de sa décomposition de Fourier ;
- 3- on couple le modèle physique avec un estimateur non linéaire de type adaptatif ;
- 4- on réalise une estimation en temps réel du régime instantané produit par chacun des cylindres à partir de l'estimateur non linéaire de type adaptatif.

1- Modèle physique de la dynamique du système de transmission

[0015] Pour estimer le signal x_0 , c'est-à-dire le régime instantané sous les cylindres, on définit dans un premier temps un modèle physique de la dynamique du système de transmission. Pour ce faire, l'on considère que ce système se comporte comme un système du deuxième ordre qui se compose de deux paramètres :

- $\bar{\omega}$: la fréquence propre de la transmission dans le référentiel tournant
- $\bar{\xi}$: l'amortissement de la transmission

[0016] Ainsi, et en se plaçant dans l'échelle angulaire, la dynamique de l'arbre de transmission s'écrit :

$$\begin{cases} \frac{d^2(x_1 - x_0)}{d\alpha^2} &= -\bar{\xi}\bar{\omega} \frac{d(x_1 - x_0)}{d\alpha} - \bar{\omega}^2(x_1 - x_0) \\ y &= x_1 \end{cases}$$

avec :

- x_1 : le régime instantané au bout de la chaîne de transmission : la mesure (y)
- x_0 : le régime instantané sous les cylindres : l'inconnu
- $\bar{\omega}$: la fréquence propre du système de transmission dans le référentiel tournant
- $\bar{\xi}$: l'amortissement du système de transmission
- α : l'angle vilebrequin du système de transmission

[0017] On peut effectuer un changement de variable en posant :

$$w_0 = \frac{d^2 x_0}{d\alpha^2} + \bar{\xi}\bar{\omega} \frac{dx_0}{d\alpha} + \bar{\omega}^2 x_0 \tag{1}$$

[0018] Le régime instantané sous les cylindres x_0 est périodique donc w_0 aussi. La dynamique peut donc se réécrire sous la forme suivante :

5

$$\begin{cases} \frac{dx}{d\alpha} = A.x + A_0.w_0 \\ y = C.x \end{cases} \quad (2)$$

10

avec :

15

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ \frac{dx_1}{d\alpha} \end{bmatrix}$$

20

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega^2 & -\xi\omega \end{bmatrix}$$

25

$$A_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

30

$$C = [1 \quad 0]$$

35

[0019] Cette équation (2) constitue le modèle physique représentant en temps réel la dynamique du système de transmission. Une estimation du signal w_0 permet de déterminer une estimation du signal x_0 à partir de l'équation (1).

2- Caractérisation du signal x_0 par des paramètres quasi invariants au cours du temps

40

[0020] On recherche à estimer, à partir de ce modèle physique et de la mesure y (égale à x_1), le signal x_0 , c'est-à-dire le régime instantané produit par chacun des cylindres. Pour réaliser cette estimation en temps réel, la méthode selon l'invention caractérise ce signal x_0 par des paramètres quasi invariants au cours du temps. En d'autres termes, on définit le signal x_0 à l'aide de paramètres qui, à un instant donné, sont des constantes. Pour ce faire, on exploite le fait que le signal x_0 est mécaniquement périodique. Ainsi, au lieu de réaliser une estimation du signal fortement variable x_0 , on peut estimer les coefficients de Fourier de ce signal. On peut également utiliser tous paramètres permettant de décrire le signal x_0 en relation avec son caractère périodique.

45

[0021] La décomposition en coefficients de Fourier du signal x_0 , développée en complexe pour la clarté de l'exposé, s'écrit ainsi :

50

$$x_0(\alpha) = \sum_{j=-n}^n d_j e^{(i\omega\alpha)} \quad (3)$$

55

Les d_j représentent les $2n+1$ coefficients de Fourier de la décomposition du signal x_0 .

[0022] On définit ainsi un signal traduisant le régime instantané x_0 , en fonction des paramètres d_j , invariants au cours du temps.

[0023] Pour estimer les paramètres d_j on peut à nouveau utiliser le changement de variable w_0 et utiliser le modèle physique décrit par le système (2). Le signal w_0 est également mécaniquement périodique, et sa décomposition en

coefficients de Fourier, développée en complexe pour la clarté de l'exposé, s'écrit ainsi :

$$w_0(\alpha) = \sum_{j=-n}^n c_j e^{i\omega\alpha}$$

Les c_j représentent les $2n+1$ coefficients de Fourier.

[0024] L'estimation de ces coefficients c_j permet ainsi d'estimer la décomposition en coefficients de Fourier du signal x_0 et donc également du signal x_0 lui-même.

[0025] En n'utilisant qu'un nombre fini d'harmoniques $([-n; +n])$, le modèle physique représentant en temps réel la dynamique du système de transmission s'écrit alors :

$$\begin{cases} \frac{dx}{d\alpha} = A.x + A_0 \cdot \left(\sum_{j=-n}^n c_j e^{i\omega\alpha} \right) \\ \frac{dc_j}{d\alpha} = 0 \\ y = C.x \end{cases}, \quad \forall j \in [-n, n] \quad (4)$$

3- Couplage avec un estimateur non linéaire de type adaptatif

[0026] A partir du modèle physique décrit par le système (4), on définit un estimateur non linéaire de type adaptatif comportant d'une part, un terme lié à la dynamique et d'autre part, un terme de correction :

$$\begin{cases} \frac{d\hat{x}}{d\alpha} = A.\hat{x} + A_0 \cdot \sum_{j=-n}^n \hat{c}_j e^{i\omega\alpha} - L.(C.\hat{x} - y) \\ \frac{d\hat{c}_j}{d\alpha} = -e^{(-i\omega\alpha)} . L_j . (C.\hat{x} - y), \end{cases} \quad \forall j \in [-n, n] \quad (5)$$

avec :

\hat{x} : estimateur de x

\hat{c}_j : estimateur de c_j

L : une matrice à calibrer

L_j : des matrices à calibrer

Un choix de matrices L et L_j assurant la convergence de l'estimateur est :

$$L = \begin{bmatrix} 2\bar{\xi}\bar{\omega} \\ 2\bar{\omega}^2 \end{bmatrix} \text{ et } \forall j \in [-n, n] \quad L_j = \frac{1}{j^2+1}$$

[0027] Le système d'équations (5) représente un estimateur non linéaire de type adaptatif permettant d'estimer les coefficients c_j de la décomposition en coefficients de Fourier du signal w_0 .

[0028] On a construit cet estimateur (5) à partir du changement de variable w_0 , mais il est évident que de la même façon, il est possible de construire un estimateur non linéaire de type adaptatif directement à partir de x_0 .

4- Estimation en temps réel du régime instantané produit par chacun des cylindres

[0029] On estime ensuite à partir de l'estimation \hat{c}_j des coefficients c_j le régime instantané produit par chacun des cylindres x_0 .

[0030] L'estimateur (5) permet de reconstruire w_0 à travers ses coefficients de Fourier c_j . L'objectif est de reconstruire x_0 . Grâce à l'expression de w_0 donnée par l'équation (1), on exprime les coefficients d_j en fonction des coefficients c_j :

$$d_j = \frac{\bar{\omega}^2 - (j.\omega)^2 - i.j.\omega.\bar{\xi}.\bar{\omega}}{(\bar{\omega}^2 - (j.\omega)^2)^2 + (j.\omega.\bar{\xi}.\bar{\omega})^2} . c_j \quad \forall j \in [-n, n] \quad (6)$$

[0031] On obtient donc ainsi l'expression du régime instantané produit par chaque cylindres, à l'aide des équations (3) et (6), et les coefficients de sa décomposition de Fourier par l'équation (6).

Estimation du couple moyen produit par chaque cylindre

[0032] Selon l'invention, il est possible de fournir une estimation du couple moyen produit par chaque cylindre à partir de l'estimation du régime instantané produit par chaque cylindres (x_0) et plus précisément à partir de l'estimation de sa décomposition de Fourier en coefficients d_j .

[0033] La connaissance du couple moyen produit par chaque cylindre est une information fondamentale et pertinente pour l'estimation de la combustion ; elle est l'image de la combustion que voit le moteur.

[0034] L'estimateur précédent (5) nous permet d'estimer le signal du régime sous les cylindres mais aussi sa décomposition de Fourier. Or, plus le couple est important plus l'excitation sur l'arbre est grande. Dans ce sens il est possible de corrélérer le couple produit par le cylindre et les coefficients de Fourier de la décomposition du signal du régime instantané (x_0).

[0035] De façon générale, il est donc possible d'identifier une fonction φ , qui permet de déterminer le PMI (Pression Moyenne Indiquée) ou, de façon équivalente, le couple moyen à partir des coefficients d_j :

$$\varphi : R^{2n+1} \rightarrow R$$

$$\{d_j\} \rightarrow PMI$$

[0036] Cette fonction φ peut être une fonction polynomiale. Elle peut être déterminée empiriquement à partir d'essai. Par exemple on peut choisir la fonction suivante :

$$\varphi(d_j) = \sum_{j=-n, j \neq 0}^n \frac{d_j^2}{\varphi_0} \quad (7)$$

avec φ_0 une constante à calibrer en fonction du régime moteur utilisé à l'aide de corrélations avec les mesures de banc moteur. Ce calibrage peut être réalisé à partir d'une tabulation, issue d'une optimisation linéaire consistant à ajuster la valeur de φ_0 pour que les estimations soient le plus proche possible des paramètres du moteur (paramètres permettant le calibrage du moteur et fournis par le constructeur).

Résultats

[0037] La figure 1 illustre l'estimation (R_{est}) du régime instantané x_0 sous les cylindres à partir de l'estimateur selon l'invention (5) décrit précédemment sur un point de fonctionnement à 1250tr/min moyenne charge. La figure 1 illustre également le régime instantané de référence R_{ref} (calculé à partir des mesures de pression cylindre au banc moteur). On observe une très bonne estimation du signal.

[0038] La figure2 illustre l'estimation (PMI_{est}) du couple cylindre à cylindre sur un point de fonctionnement à 1500tr/min, à partir de l'estimateur selon l'invention (5) et d'une fonction φ définie par l'équation (7). La figure 2 illustre également

EP 1 931 868 B1

le couple moyen de référence (PMI_{ref}) (calculé à partir des mesures de pression cylindre au banc moteur). On observe une très bonne estimation du signal.

[0039] Le filtre adaptatif ainsi réalisé est performant, et surtout ne nécessite aucun réglage supplémentaire dans le cas de changement du point de fonctionnement. Aucune phase d'identification n'est nécessaire, seul un réglage des bruits de mesure et de modèle doit être effectué, une seule et unique fois

[0040] Un contrôle moteur pourra ainsi, à partir des couples reconstruits, adapter les masses de carburant injectées dans chacun des cylindres afin que les couples soient équilibrées dans tous les cylindres.

[0041] Les intérêts d'une estimation du régime instantané produit par chaque cylindre et l'estimation du couple moyen cylindre à cylindre sont nombreux :

- réduction des émissions polluantes ;
- amélioration de l'agrément de conduite (régularisation du couple délivré) ;
- réduction de la consommation de carburant ;
- diagnostic du système d'injection (détection de la dérive d'un injecteur ou de la défaillance du système d'injection).

Revendications

1. Méthode pour estimer en temps réel le régime instantané produit par chacun des cylindres d'un moteur à combustion interne comprenant au moins un système de transmission relié aux cylindres et un capteur qui réalise en temps réel une mesure (x_1) du régime instantané en bout dudit système de transmission, **caractérisée en ce qu'elle** comporte les étapes suivantes :

- a) on construit un modèle physique représentant en temps réel la dynamique dudit système de transmission en fonction : de l'angle vilebrequin, de ladite mesure (x_1), de coefficients d'une décomposition en série de Fourier dudit régime instantané produit par chacun des cylindres, et en fonction d'un amortissement et d'une fréquence propre caractérisant ledit système de transmission ;
- b) on détermine en temps réel les coefficients de ladite décomposition en série de Fourier en couplant ledit modèle avec un estimateur non linéaire de type adaptatif ;
- c) on réalise une estimation en temps réel du régime instantané produit par chacun des cylindres, à partir desdits coefficients de Fourier.

2. Méthode selon la revendication 1, dans laquelle on estime en temps réel le couple moyen de chacun des cylindres à partir de l'estimation desdits coefficients.

3. Méthode selon les revendications précédentes pour adapter par un contrôle moteur les masses de carburant injectées dans chacun des cylindres afin de régler le couple moyen produit par chacun des cylindres.

Claims

1. A method for real-time estimation of the instantaneous condition produced by each of the cylinders of an internal combustion engine comprising at least one transmission system connected to the cylinders and a detector which performs in real time a measurement (x_1) of the instantaneous condition at the end of said transmission system, **characterised in that** it comprises the following steps:

- a) constructing a physical model representing in real time the dynamics of said system transmission in dependence on: the crankshaft angle, said measurement (x_1), coefficients of a Fourier series analysis of said instantaneous condition produced by each of the cylinders, and in dependence on damping and a natural frequency characterising said transmission system;
- b) determining in real time the coefficients of said Fourier series analysis by coupling said model to a non-linear adaptive type estimator; and
- c) effecting an estimation in real time of the instantaneous condition produced by each of the cylinders from said Fourier coefficients.

2. A method according to claim 1 wherein the mean torque of each of the cylinders is estimated in real time from the estimation of said coefficients.
3. A method according to the preceding claims for adapting by an engine control the masses of fuel injected into each of the cylinders in order to regulate the mean torque produced by each of the cylinders.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Schätzen in Echtzeit der Momentandrehzahl, die von jedem der Zylinder eines Verbrennungsmotors erzeugt wird, das wenigstens ein Kraftübertragungssystem aufweist, das mit den Zylindern verbunden ist, und einen Sensor, der in Echtzeit eine Messung (x_1) der Momentandrehzahl am Ende des Kraftübertragungssystems ausführt, **dadurch gekennzeichnet, dass** es die folgenden Schritte aufweist:

a) Bauen eines physikalischen Modells, das in Echtzeit die Dynamik des Kraftübertragungssystems darstellt in Abhängigkeit: von dem Kurbelwellenwinkel, der Messung (x_1), Koeffizienten einer Aufschlüsselung in Fourier-Serien der Momentandrehzahl, die von jedem der Zylinder erzeugt wird, und in Abhängigkeit von einer Dämpfung und einer Eigenfrequenz, die das Kraftübertragungssystem auszeichnet,

b) Bestimmen in Echtzeit der Koeffizienten der Aufschlüsselung in Fourier-Serien, indem das Modell mit einem nicht linearen Schätzer des adaptiven Typs gekoppelt wird und,

c) Ausführung einer Schätzung in Echtzeit der Momentandrehzahl, die von jedem der Zylinder erzeugt wird, ausgehend von den Fourier-Koeffizienten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem man in Echtzeit das mittlere Moment jedes der Zylinder ausgehend von der Schätzung der Koeffizienten schätzt.

3. Verfahren nach den vorhergehenden Ansprüchen zum Anpassen durch eine Motorsteuerung der Kraftstoffmassen, die in jeden der Zylinder eingespritzt werden, um das mittlere Moment, das von jedem der Zylinder erzeugt wird, zu regeln.

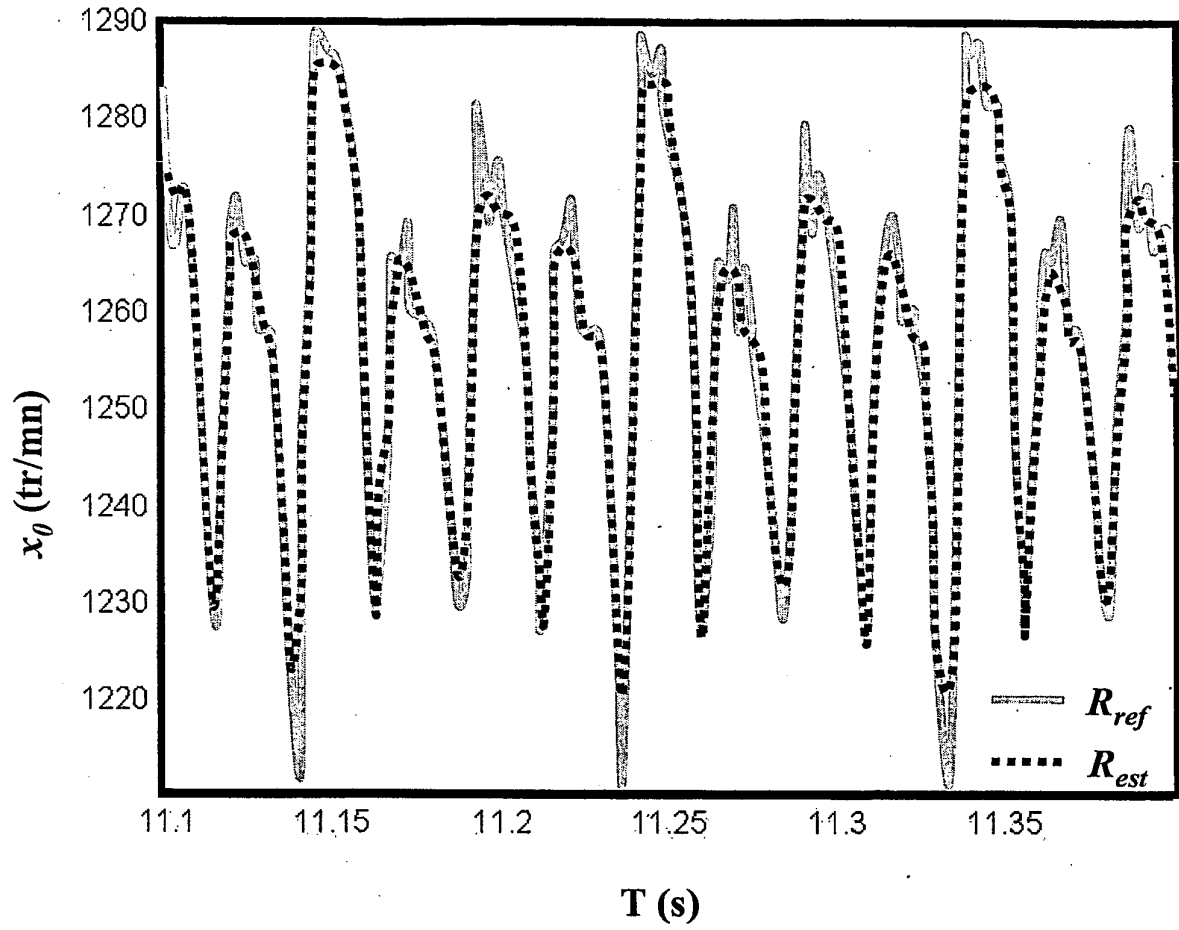


Figure 1

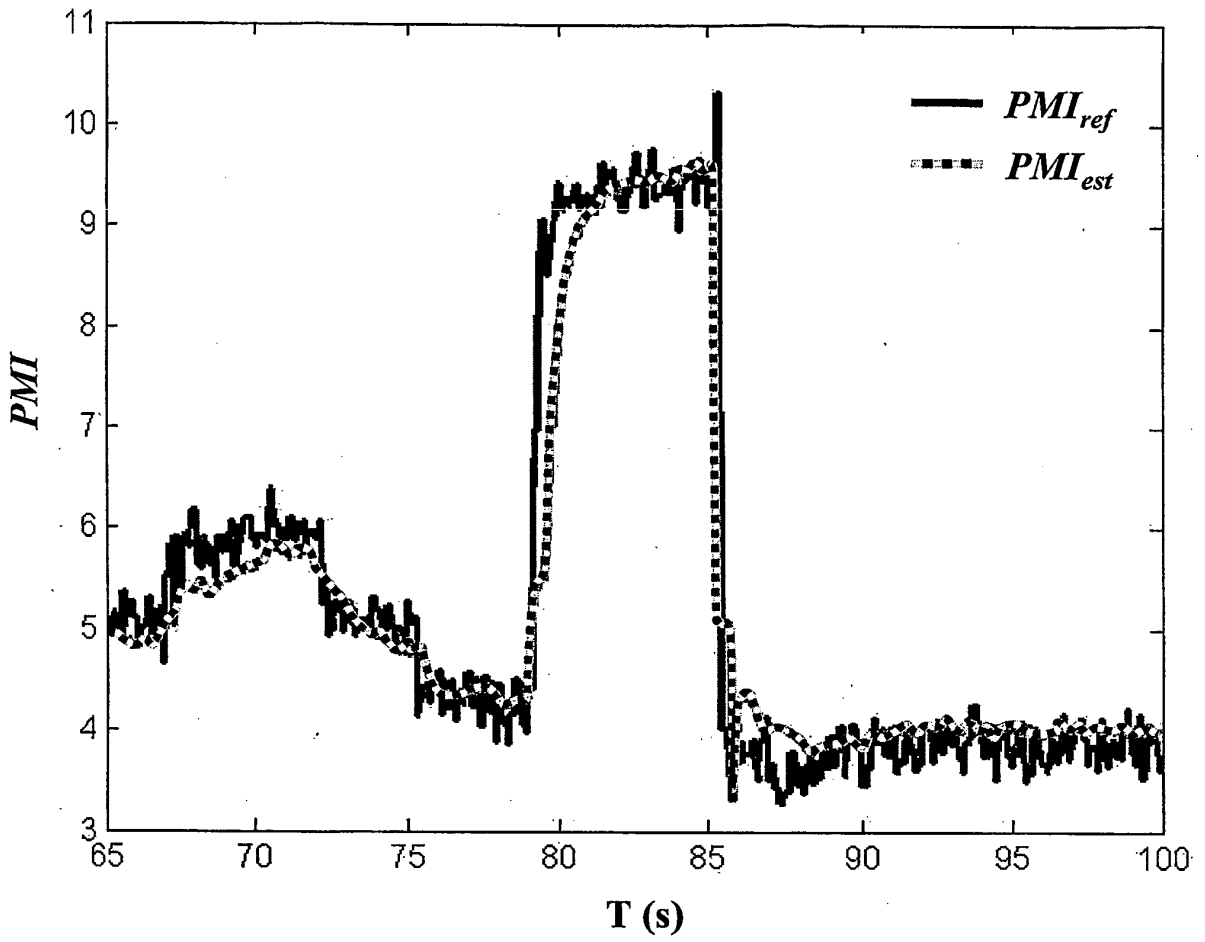


Figure 2