



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107066996 B

(45)授权公告日 2019.10.22

(21)申请号 201710479951.5

(22)申请日 2017.06.22

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107066996 A

(43)申请公布日 2017.08.18

(73)专利权人 中国人民解放军海军工程大学
地址 430033 湖北省武汉市解放大道717号

(72)发明人 杨昆 范焕羽

(74)专利代理机构 北京天盾知识产权代理有限公司 11421

代理人 黄淑娟

(51)Int.Cl.
G06K 9/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 205539035 U,2016.08.31,

CN 103900824 A,2014.07.02,

Antonis K. Antonopoulos et al..Effect of instantaneous rotational speed on the analysis of measured diesel engine cylinder pressure data.《Energy Conversion and Management》.2012,第60卷

胡杰 等.基于EMD和HHT的内燃机瞬时转速信号分析.《车用发动机》.2010,(第3期),

审查员 程呈

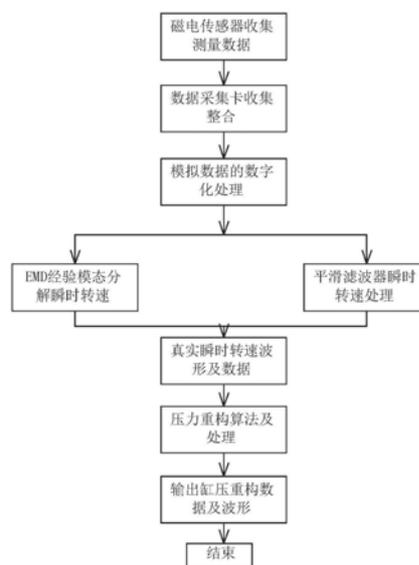
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54)发明名称

一种基于转速的缸压曲线重构方法

(57)摘要

本发明属于气缸数据分析处理领域,尤其涉及一种基于转速的缸压曲线重构方法。其通过可以经外部快速测量获取的瞬时转速、角位移、上止点信号等数据,利用自编函数及比较器快速计算重构缸压数据,本方法需要测量的数据少,所需设备简单,采集效率高,后期处理计算量少,对计算系统性能要求低,缸压重构结果好。



1. 一种基于转速的缸压曲线重构方法,其特征在于,包含以下步骤:

A、利用传感器获取模拟信号,包括气缸中齿轮或飞轮的转速脉冲信号,齿轮旋转的角位移脉冲信号,以及气缸上止点脉冲信号;

B、将上述转速脉冲信号、角位移脉冲信号及气缸上止点脉冲信号分别使用比较器处理,将上述模拟信号转换为规则方波信号;

C、以上述模拟信号转换的数字信号为基础数据,寻找数字信号中的上升沿数据点位置,通过两个上升沿之间的数据总数以及采样频率确定瞬时转速得到瞬时转速的数字信号数据;

D、对上述瞬时转速信号数据形成的曲线图进行EMD经验模态分析后得到imf分量曲线图及数据,选取与发动机频率相同或相近的曲线图进行叠加,得到真实瞬时转速曲线图及数据;再使用巴特沃斯带通平滑滤波器进行处理;

E、将上述经处理形成的平滑的真实瞬时转速数据代入以下公式进行计算得到缸压重构数据以及曲线图;

$$\left\{ J + m_1 R^2 \sum_{k=1}^N [f(\theta - \varphi_k)]^2 \right\} \ddot{\theta} + \left\{ m_1 R^2 \sum_{k=1}^N [f(\theta - \varphi_k)g(\theta - \varphi_k)]^2 \right\} \dot{\theta}^2 \\ = A_p R \sum_{k=1}^N [p^{(k)}(\theta)f(\theta - \varphi_k)] - T_L$$

其中

m_1 : 往复运动集中换算质量;

J : 旋转运动集中转动惯量;

R : 曲轴半径;

φ_k : 第 k 缸相对第一缸的发火相位;

N : 采样点数;

P : 瞬时缸内压力;

L : 连杆长度;

θ : 曲柄转角;

$\dot{\theta}$: 角速度;

$\ddot{\theta}$: 角加速度;

A_p : 活塞面积;

T_L : 总阻力扭矩;

f 函数为: $f(x) = (\sin(x) + (R/L) * \sin(2x) ./ (2 * \sqrt{1 - (R/L)^2 * \sin(x)^2}))$; g 函数为: $g(x) = \cos(x) + (R/L) * \cos(2x) ./ \sqrt{1 - (R/L)^2 * \sin(x)^2} + ((R/L)^3 * \sin(2x) ./ (4 * \sqrt{1 - (R/L)^2 * \sin(x)^2} .^3))$ 。

2. 根据权利要求1所述一种基于转速的缸压曲线重构方法,其特征在于,所述巴特沃斯带通平滑滤波器用振幅的平方对频率的公式可表示为:

$$|H(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_s}\right)^2} = \frac{1}{1 + \epsilon^2 \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2}$$

其中, ϵ = 滤波器阶数

ω_s = 截止频率 = 振幅下降为-3分贝时的频率

ω_p = 通频带边缘频率

在通频带边缘的数值为: $\frac{1}{1+\epsilon^2} = |H(\omega)|^2$ 。

一种基于转速的缸压曲线重构方法

技术领域

[0001] 本发明属于气缸数据分析处理领域,尤其涉及一种基于转速的缸压曲线重构方法。

背景技术

[0002] 气缸广泛应用于各生产操作及机械设备中,一旦其发生故障,将可能导致设备停机,影响正常生产工作秩序甚至造成安全事故,因此,为保证气缸安全稳定工作,需要在气缸早期设计以及后期使用过程中对气缸各项指标数据进行分析判断,以使气缸获取和保持最佳的使用状态。其中缸压重构是反映气缸压力变化情况,表现实际工作状态的重要数据,经常应用于气缸的生产检测,设计优化等工作过程中。由于气缸工作过程中缸内气压大、温度高、变化快因此不容易测量,特别是对一些不可拆卸或者正在使用中的气缸进行测量时,无法直接获取气缸内部的数据。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于,提供一种基于转速的缸压曲线重构方法,其步骤少,数据采集及处理简单,能够重构缸压数据。

[0004] 为实现上述目的,本发明创造采用如下技术方案。

[0005] 一种基于转速的缸压曲线重构方法,其特征在于,包含以下步骤:

[0006] 利用传感器获取模拟信号,包括气缸中齿轮或飞轮的转速脉冲信号,齿轮旋转的角位移脉冲信号,以及气缸上止点脉冲信号;

[0007] 将上述转速脉冲信号、角位移脉冲信号及气缸上止点脉冲信号分别使用比较器处理,将上述模拟信号(即不规则方波信号)转换为规则方波信号;

[0008] 以上述模拟信号转换的数字信号为基础数据,寻找数字信号中的上升沿数据点位置,通过两个上升沿之间的数据总数以及采样频率确定瞬时转速得到瞬时转速的数字信号数据;

[0009] 对上述瞬时转速信号数据形成的曲线图进行EMD经验模态分析后得到imf分量曲线图及数据,选取与发动机频率相同或相近的曲线图进行叠加,得到真实瞬时转速曲线图及数据;再使用巴特沃斯带通平滑滤波器进行处理;

[0010] 将上述经处理形成的平滑的真实瞬时转速数据代入以下公式进行计算得到缸压重构数据以及曲线图;

$$\begin{aligned}
 [0011] \quad & \left\{ J + m_1 R^2 \sum_{k=1}^N [f(\theta - \varphi_k)]^2 \right\} \ddot{\theta} + \left\{ m_1 R^2 \sum_{k=1}^N [f(\theta - \varphi_k)g(\theta - \varphi_k)]^2 \right\} \dot{\theta}^2 \\
 & = A_p R \sum_{k=1}^N [p^{(k)}(\theta)f(\theta - \varphi_k)] - T_L
 \end{aligned}$$

[0012] 其中

[0013] m_1 : 往复运动集中换算质量;

[0014] J: 旋转运动集中转动惯量;

[0015] R: 曲轴半径;

[0016] Φ_k : 第k缸相对第一缸的发火相位;

[0017] N: 采样点数;

[0018] P: 瞬时缸内压力;

[0019] L: 曲柄长度;

[0020] θ : 曲柄转角;

[0021] $\dot{\theta}$: 角速度;

[0022] $\ddot{\theta}$: 角加速度;

[0023] f函数为: $f(x) = (\sin(x) + (R/L) * \sin(2x)) ./ (2 * \sqrt{1 - (R/L)^2 * \sin(x)^2})$

[0024] g函数为: $g(x) = \cos(x) + (R/L) * \cos(2x) ./ \sqrt{1 - (R/L)^2 * \sin(x)^2} +$

[0025] $((R/L)^3 * \sin(2x)^2) / (4 * \sqrt{1 - (R/L)^2 * \sin(x)^2})^3$

[0026] 较优地, 所述巴特沃斯带通平滑滤波器用振幅的平方对频率的公式可表示为:

$$[0027] |H(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_s}\right)^2} = \frac{1}{1 + \epsilon^2 \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2}$$

[0028] 其中, ϵ = 滤波器阶数;

[0029] ω_s = 截止频率 = 振幅下降为-3分贝时的频率;

[0030] ω_p = 通频带边缘频率;

[0031] 在通频带边缘的数值为: $\frac{1}{1 + \epsilon^2} = |H(\omega)|^2$ 。

[0032] 其有益效果在于:

[0033] 本发明创造的一种基于转速的缸压曲线重构方法, 其通过可以经外部快速测量获取的瞬时转速、角位移、起止点信号等数据, 利用自编函数及比较器快速计算重构缸压数据, 本方法需要测量的数据少, 所需设备简单, 采集效率高, 后期处理计算量少, 对计算系统性能要求低, 缸压重构结果好。

附图说明

[0034] 图1是本发明创造的具体实施步骤图;

[0035] 图2是实施例中对采集的数据经过处理后获得的未处理的循环转速图;

[0036] 图3是由循环转速图经处理后获得的imf分量转角域值以及图像;

[0037] 图4和图5是imf分量的频谱和瞬时频率图;

[0038] 图6是由各imf分量波形图经过叠加形成的真实瞬时转速曲线图;

[0039] 图7是经过巴特沃斯带通滤波器平滑处理后的转速图像;

[0040] 图8是对实施例中对具体柴油机进行处理的计算模型;

[0041] 图9是实施例中对具体柴油机进行缸压重构获得的曲线。

具体实施方式

[0042] 以下结合具体实施例对本发明创造作详细说明。

[0043] 本发明创造的基于转速的缸压曲线重构方法,其实施过程如图1所示,其具体实施步骤包括:

[0044] 1、信号采集方法;

[0045] 本发明的一种基于转速的缸压曲线重构方法的基础数据包括转速脉冲信号,角位移脉冲信号,气缸上止点脉冲信号。

[0046] 实际应用中,由于气缸内各齿轮的齿数及直径都已经确定,其转速 u 可以相互转换,因此可以采用测量气缸内任意齿轮的转速 u 来进行计算,为便于操作及观察,优选测量汽缸外的飞轮的转速 u 进行计算。本实施例中利用传感器测量飞轮的转速 u ,利用编码器采集飞轮角位移信号,通过在气缸的上止点位置设置传感器以收集上止点信号。

[0047] 较优地,上述传感器可以采用磁电传感器。利用数据采集器,如NI9222等,可便捷的采集多路信号,满足测量需要。

[0048] 在进行信号采集的过程中,根据需要设置采集频率 f_0 为4-10倍齿轮信号频率 f_1 ,由齿轮的平均转速 ω_1 可估算齿轮信号频率 $f_1 = \omega_1$ (实验值 $\omega_1 = 800$),即 $f_0 = kf_1 = k\omega_1$, $k \in [4, 10]$;

[0049] 信号采集周期的长短决定了总得信号点个数以及信号精度;根据实际需要,采集5-10s可保证达到需要的计算精度。

[0050] 2、模拟信号的数字化处理

[0051] 使用Matlab软件对收集到的信号进行后序处理,

[0052] A、对齿轮脉冲信号 new 的处理,根据传感器输出的信号波形的极值点数值范围 $[a, b]$, ($a < b$),规定大于 x 的信号 ($a < x < b$) 为 X_1 ($X_1 > 0$),小于 x 的信号为0;

[0053] B、对编码器脉冲信号 bmq 的处理,根据编码器输出的信号波形的极值点数值范围 $[s, t]$, ($s < t$),规定大于 r 的信号 ($s < r < t$) 为 R_1 ($R_1 > 0$),小于 r 的信号为0;

[0054] C、将上述处理后的信号作为基础文件利用比较器进行对比,寻找上升沿,以确定齿轮位置,所述比较器内容如下,

[0055] 为便于后文描述,定义 $x = 5, X_1 = 10, r = 2.5, R_1 = 5$;

```

.....
for i=1:length (new);
    If new (i) >=5;
        new (i) =10;
    else
        new (i) =0;
    end
end

```

```

[0056] .....
for i=1:length (bmq);
    If new (i) >=2.5;
        new (i) =5;
    else
        new (i) =0;
    end
end

```

```

.....

```

[0057] 通过自编比较器使不规则方波变为规则方波,无需计算过零点,减少了计算量,提高

[0058] 了测量以及计算效率。

[0059] 3、计算瞬时转速;

[0060] 首先寻找斜率为 $X_1=10$ 的点,即上升沿对应点,每两个上升沿代表齿轮旋转一周,根据采样频率以及两个上升沿之间的间隔点数计算瞬时转速,计算公式为

$$v = \frac{60 * f_0}{(d_{s+1} - d_s) * N}$$
;其中 v 为瞬时转速, f_0 为采样频率, $d_{s+1}-d_s$ 为两个上升沿之间采样点数, N

为飞轮齿数(后文中以试验中齿轮齿数 $N=136$ 为基础进行计算)。其计算公式在计算机中表达为,

```

.....
a=find (diff (new) ==10); %斜率为 10 的点的位置
for i=1: length (a) -1;
    v (i) =60* f0 / (a (i+1) -a (i)) /136
end
[0061] v=[v, v (end) ]
Szd=szd (a); %齿轮上止点位置
szd1=find (Szd (1: 200) ==Szd (1: 200)); %寻找第一个上止点
n=v (szd1: szd1+271);
Save (' 循环转速未处理.mat', ' n')

```

.....

[0062] 通过需寻找斜率为定值的脉冲点,结合齿数等相关数据,确定齿轮瞬时转速数据,不需要对齿轮进行逐点计算取值,减少了计算量,简化数据处理过程。

[0063] 利用Matlab软件及上述经过上述公式处理后得到未处理的循环转速如图2中所示;

[0064] Matlab软件对PC性能要求低,降低本方法测量的成本,扩大其应用场合。

[0065] 4、获取真实瞬时转速曲线图;

[0066] 在上述未处理的循环转速图的基础上,运用EMD经验模态分析方法对图形进行处理,获得各imf分量转角域值以及图像,如图3中所示。

[0067] 其中用于进行EMD经验模态分析的emd函数及步骤如下,

```

[0068] .....
[0069] load(' 循环转速未处理.mat')
[0070] z=n;
[0071] Figure (1)
[0072] t=linspace (0,720,272) ;
[0073] set(gcf,' color' , ' w')
[0074] plot (t,z,' k')
[0075] set(gca,' fontname' , ' timesNewRoman')
[0076] set(gca,' fontsize' ,14.0)
[0077] axis([0 720 750 850])
[0078] c=emd (z)
[0079] .....

```

[0080] 5、对得到的imf数据进行希尔伯特黄变换(hht变换):

[0081] 利用hhmspectrum_new、disp_hhms_new、hhspectrum、hhspectrum1函数对各imf分量进行变换处理,其中Flip1r为矩阵翻转函数,得到imf分量的频谱和瞬时频率图,如图4、图5中所示。

```

[0082] 其中,用于进行hht变换的计算函数如下,
.....
%估算个分量的瞬时频率及作图
DEFSPL=270;
[A, f, tt]=hhspectrum (c);
psd=hhmsdisp_hhms
Pectrum_new (A, f, 270);
disp_hhms_new (psd, DEFSPL);
li=length ((c (:, 1)));
%各分量的功率谱
.....
figure
li=length ((f (:,1)))
[0083] for i=1:li;
        subplot (li,1,i) ;
        psd=hhmspectrum1 (A (i,:), f (i,:), 272);
        Interval=0.5* f0/DEFSPL;
        xvalue (1) =Interval;
        yvalue=fliplr (psd)
            for j=2: 272
                xvalue (j) =xvalue (j-1) +Interval
            end
        plot (xvalue, yvalue, ' k')
        xlable (' 频率 Hz')
.....

```

[0084] 6、获取真实瞬时转速曲线图；

[0085] 在上一步的基础上,根据发动机频率比较并选择1倍频以下的波形做叠加得到真实瞬时转速曲线图,如图6所示。

[0086] 利用巴特沃斯带通滤波器对上述真实瞬时转速曲线图进行平滑处理,巴特沃斯带通滤波器可用如下振幅的平方对频率的公式表示

$$[0087] \quad |H(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_s}\right)^2} = \frac{1}{1 + \epsilon^2 \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2}$$

[0088] 其中, ϵ = 滤波器阶数

[0089] ω_s = 截止频率 = 振幅下降为-3分贝时的频率

[0090] ω_p = 通频带边缘频率

[0091] 在通频带边缘的数值为: $\frac{1}{1+\epsilon^2} = |H(\omega)|^2$

[0092] 得到平滑的瞬时转速和转速曲线。所得转速图形如图7

[0093] 7、缸压重构;

[0094] 将瞬时转速单位r/pm转换为角速度单位rad/s;

[0095] 在进行缸压重构过程中,本实施例采用柴油机非线性动力学模型,将摩擦力矩等阻力矩视为定值进行计算,计算模型如图8所示。

[0096] 输入柴油机的结构参数(以下数据为实验用设备的数值):

[0097] 往复运动集换算质量/kg, $m_1=20$; 旋转运动换算质量/kg, $m_2=1000$;

[0098] 曲轴半径/m, $R=0.065$; 连杆长度/m, $L=0.219$; 有效输出功率, $N_e=30$;

[0099] 机械效率, $\eta=0.88$; 曲轴连杆比, $\lambda=m=R/L$;

[0100] 根据下方公式重构压力曲线。

$$[0101] \quad \left\{ J + m_1 R^2 \sum_{k=1}^N [f(\theta - \varphi_k)]^2 \right\} \ddot{\theta} + \left\{ m_1 R^2 \sum_{k=1}^N [f(\theta - \varphi_k)g(\theta - \varphi_k)]^2 \right\} \dot{\theta}^2 \\ = A_p R \sum_{k=1}^N [p^{(k)}(\theta)f(\theta - \varphi_k)] - T_L$$

[0102] 式中:

[0103] m_1 : 往复运动集中换算质量;

[0104] J : 旋转运动集中转动惯量;

[0105] R : 曲轴半径;

[0106] φ_k : 第 k 缸相对第一缸的发火相位;

[0107] N : 采样点数;

[0108] P : 瞬时缸内压力;

[0109] L : 曲柄长度;

[0110] θ : 曲柄转角;

[0111] $\dot{\theta}$: 角速度;

[0112] $\ddot{\theta}$: 角加速度;

[0113] f 函数定位及表达为:

[0114]

[0115] `function f_phi = f(phi)`

[0116] $R=0.065$;

[0117] $L=0.219$;

[0118] $\lambda=R/L$

[0119] $f_phi = \sin(\phi) + lam * \sin(2 * \phi) ./ (2 * \sqrt{1 - lam^2 * \sin(\phi)^2})$

[0120]

[0121] f函数定位及表达为:

[0122] $function\ g_phi = g(\phi)$

[0123] $R = 0.065;$

[0124] $L = 0.219;$

[0125] $Lam = R/L$

[0126] $g_phi = \cos(\phi) + lam * \cos(2 * \phi) ./ \sqrt{1 - lam^2 * \sin(\phi)^2} + lam^3 * \sin(2 * \phi)^2 / (4 * \sqrt{1 - lam^2 * \sin(\phi)^2})^3$

[0127] 最后得到的压力曲线图如图9所示。

[0128] 需要指出的是,本具体实施例的计算过程中主要是在Matlab数学软件中进行,因此其函数及方法均使用相应的数据库及函数形式,运用本方法或思路也可以利用其他数学软件或分析软件以不同形式或函数再现,本实施例仅为具体表达计算方法和思路,不应当理解为对本发明创造的限制。

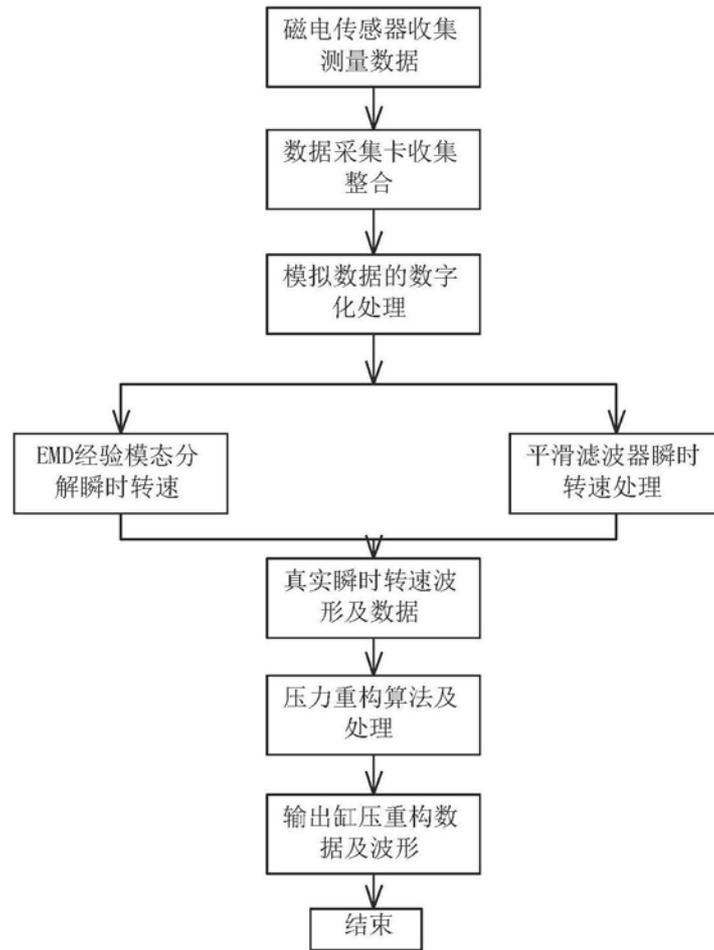


图1

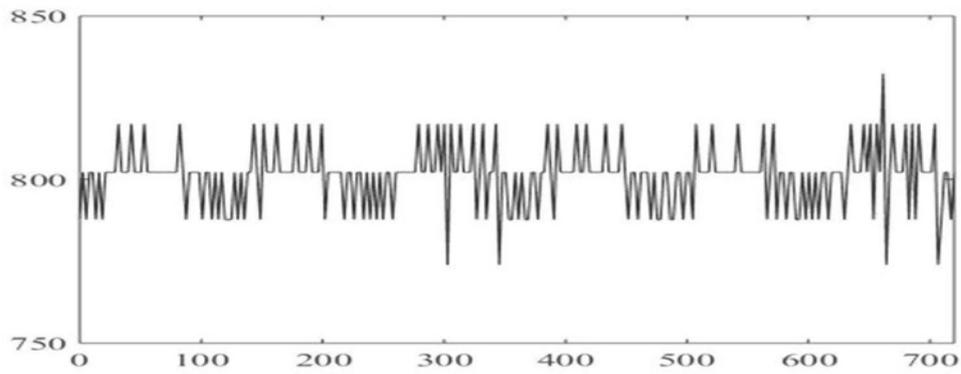


图2

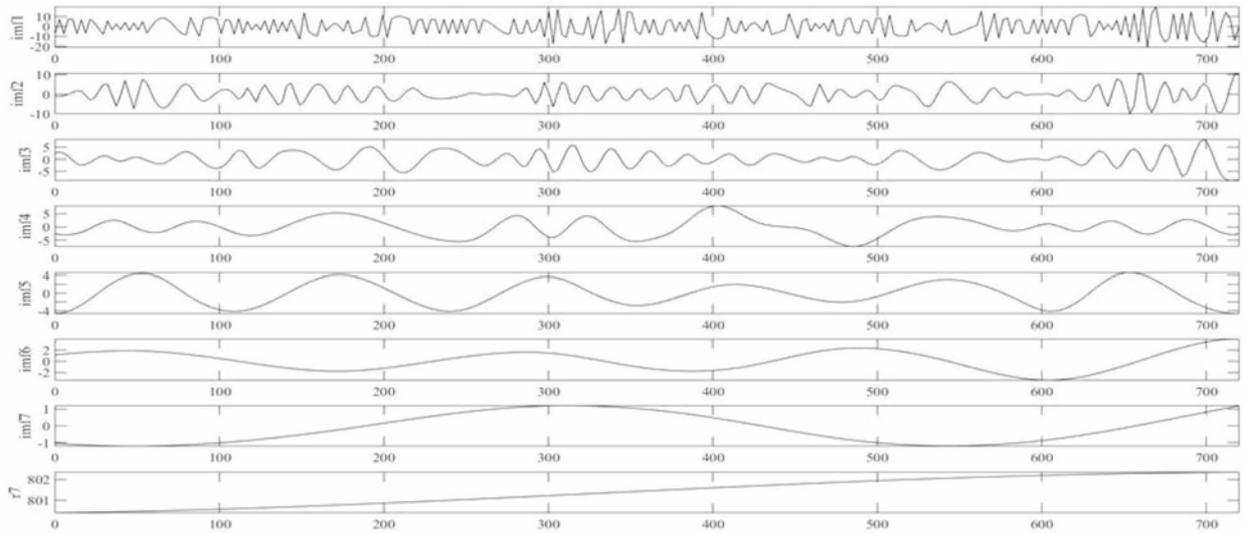


图3

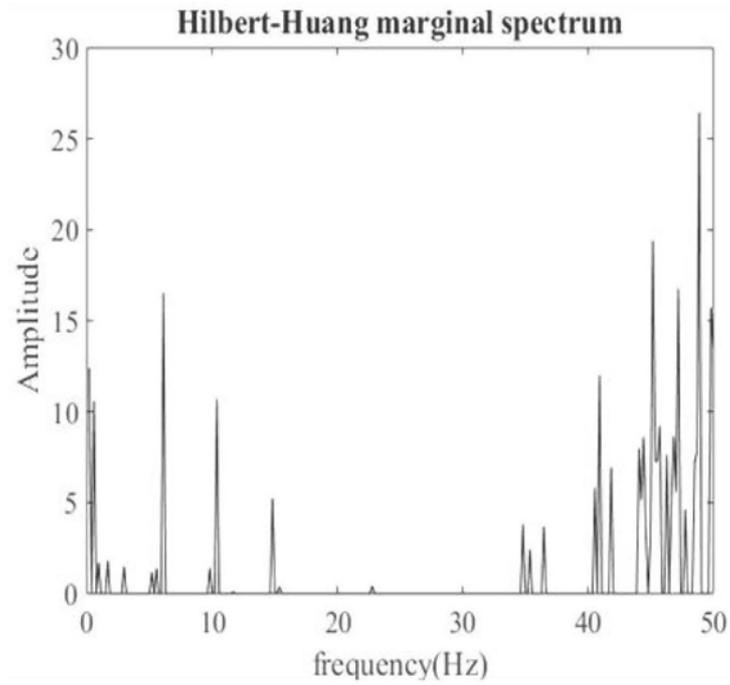


图4

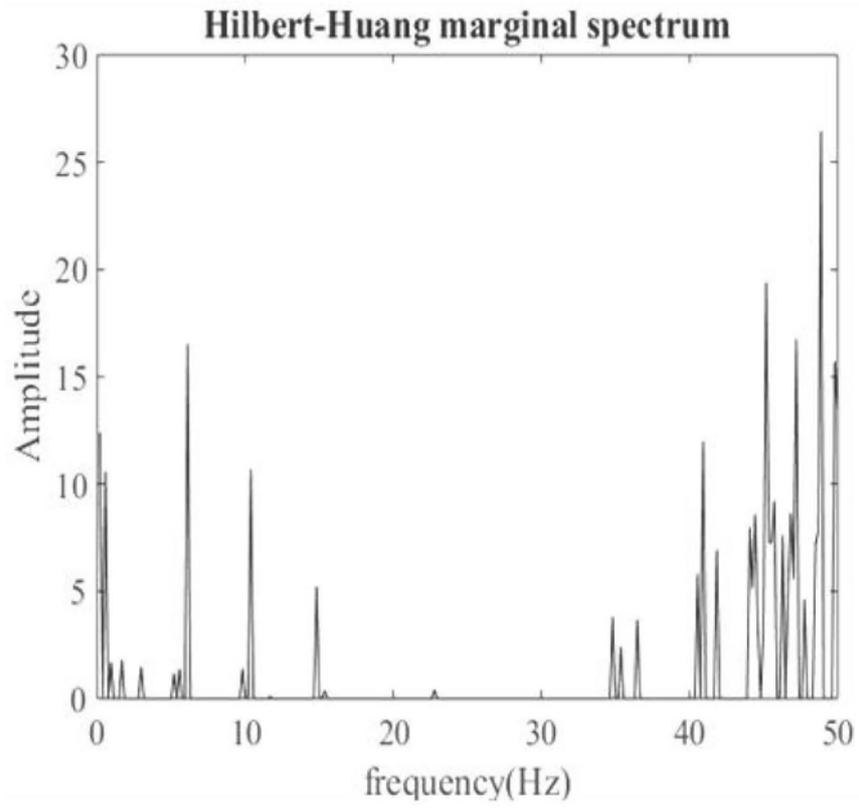


图5

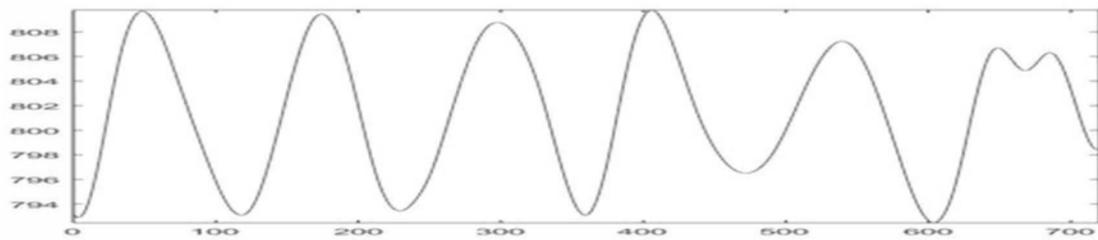


图6

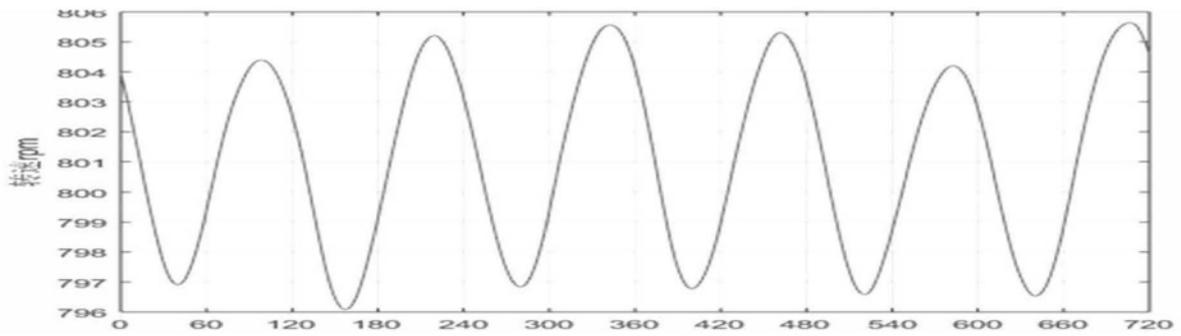


图7

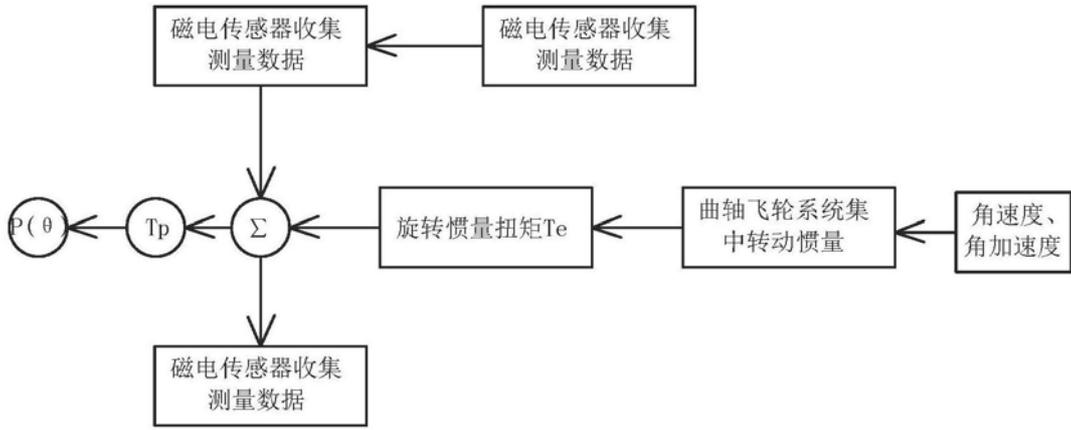


图8

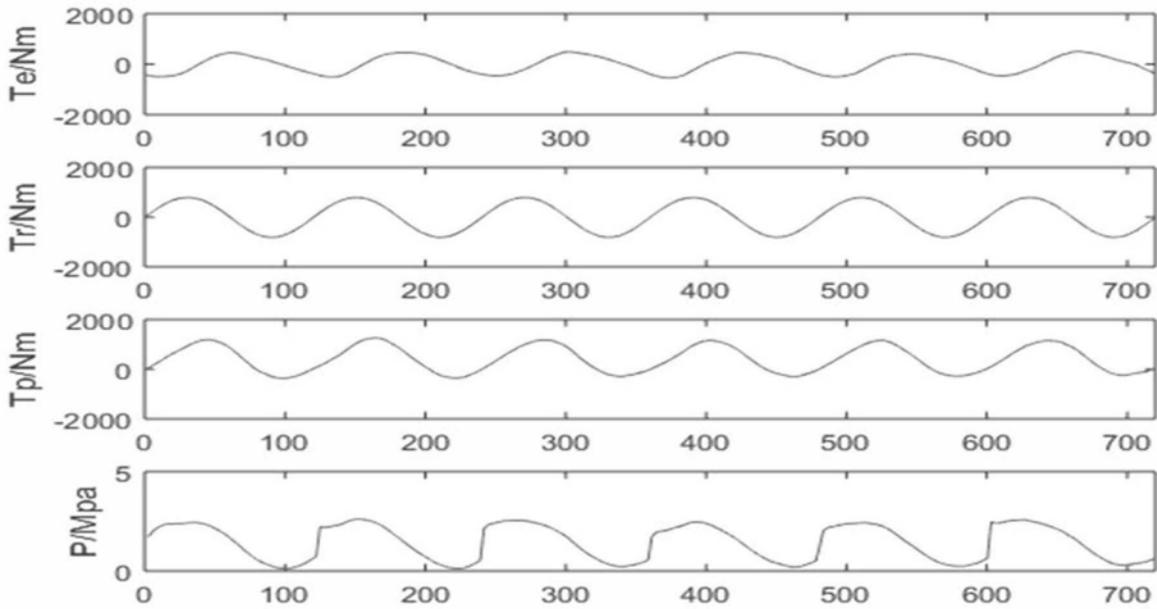


图9