



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111814708 B

(45) 授权公告日 2024. 02. 20

(21) 申请号 202010673820.2

(22) 申请日 2020.07.14

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111814708 A

(43) 申请公布日 2020.10.23

(73) 专利权人 国网江苏省电力有限公司泗洪县  
供电分公司

地址 223700 江苏省宿迁市泗洪县建设北  
路18号

专利权人 国网江苏省电力有限公司宿迁供  
电分公司  
国网江苏省电力有限公司  
国家电网有限公司  
宿迁电力设计院有限公司

(72) 发明人 高爱杰 李继武 黄儒刚 万勇  
夏奔飞 乔帅君 秦宇

(74) 专利代理机构 南京品智知识产权代理事务  
所(普通合伙) 32310

专利代理师 杨陈庆

(51) Int.Cl.

G06F 18/213 (2023.01)

G06F 18/24 (2023.01)

(56) 对比文件

CN 105375809 A, 2016.03.02

CN 106921304 A, 2017.07.04

CN 108123634 A, 2018.06.05

GB 859942 A, 1961.01.25

GB 868196 A, 1961.05.17

JP 2005295521 A, 2005.10.20

JP 2009038885 A, 2009.02.19

JP 2013102670 A, 2013.05.23

审查员 许晓燕

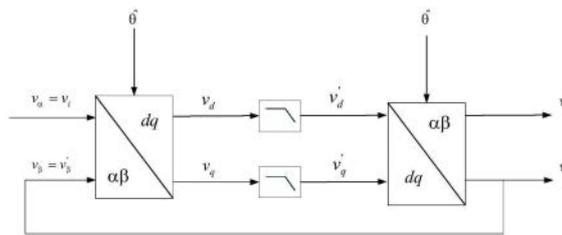
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于坐标变换的低通滤波反馈解耦特征信号提取方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于坐标变换的低通滤波反馈解耦的特征信号提取方法,用于对需要信号进行提取。将输入信号 $v_i$ 采样与反Park变化后的输出信号作为输入信号,利用电网电压矢量角 $\hat{\theta}$ 获得输入信号在旋转正交坐标系下的直流信号 $v_d, v_q$ ,将直流信号 $v_d, v_q$ 通过低通滤波器滤波后获得较为理想的直流信号 $v'_d, v'_q$ ,通过电网电压矢量角和反Park变化得到需要的输出信号。本发明能够解决在采样信号在复杂电磁环境下易受噪声干扰的问题,提高输入信号幅值相角特征提取的准确度与稳定性。



1. 一种基于坐标变换的低通滤波反馈解耦特征信号提取方法,其特征在于:包括如下步骤:

1) 将采样信号 $v_i$ 与反馈信号 $v'_\beta$ 作为输入信号 $v_\alpha=v_i, v_\beta=v'_\beta$ ;

2) 虚拟出50Hz频率的电网电压矢量角 $\hat{\theta}$ 作为Park变换的参考角度对两相静止坐标系下的 $v_\alpha, v_\beta$ 进行Park变换得到同步旋转坐标系下的电压的d分量和q分量直流信号 $v_d, v_q$ ;稳态时,d轴分量表示 $v_i$ 的幅值特性,q轴分量表示 $v_i$ 的相角特性;

3) 将Park变换后的直流信号 $v_d, v_q$ 通过低通滤波器,滤除其中衰减高频分量获得直流分量 $v'_d, v'_q$ ,所述 $v'_d$ 主要代表输入的电压幅值, $v'_q$ 主要代表输入电压的相位差;

步骤3)中所述的低通滤波器为 $LPF(s) = \frac{\omega_p}{s + \omega_p}$ 其中 $\omega_p$ 为低通滤波器的截止频率;

4) 滤波后的直流分量 $v'_d, v'_q$ 通过给定电网电压矢量角 $\hat{\theta}$ 进行反Park变化得到期望获得的工频信号 $v'_\alpha$ 和反馈信号 $v'_\beta$ ;

5) 对工频信号 $v'_\alpha$ 提取,对反馈信号 $v'_\beta$ 进行反馈,第一路输出与第一路输入的关系表现为带通特性,第二路输出与第一路输入的关系表现为低通特性;

所述第一路输入 $v_i$ 为电网二次回路采样信号,利用反Park变换后的第二路输出 $v'_\beta$ 作为第二路输入;

$v'_\alpha$ 与 $v_i$ 的关系表现为以频率 $\hat{\omega}$ 为中心的带通特性, $v'_\alpha$ 体现 $v_i$ 的基频幅值和相角特征;  
 $v'_\beta$ 与 $v_i$ 的关系表现为低通特性, $v'_\beta$ 体现 $v_i$ 的幅值特征,相角与 $v_i$ 相差 $90^\circ$ ,即

$$\begin{bmatrix} v'_\alpha(t) \\ v'_\beta(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \hat{\theta} & -\sin \hat{\theta} \\ \sin \hat{\theta} & \cos \hat{\theta} \end{bmatrix} \times \left\{ \begin{bmatrix} LPF(t) & 0 \\ 0 & LPF(t) \end{bmatrix} * \left\{ \begin{bmatrix} \cos \hat{\theta} & \sin \hat{\theta} \\ -\sin \hat{\theta} & \cos \hat{\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha(t) \\ v_\beta(t) \end{bmatrix} \right\} \right\}$$

其中\*表示卷积运算,对上式两边同时进行拉普拉斯变换并整理可得下式:

$$\begin{bmatrix} v'_\alpha(s) \\ v'_\beta(s) \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} LPF(s+j\hat{\omega})+LPF(s-j\hat{\omega}) & -jLPF(s+j\hat{\omega})+jLPF(s-j\hat{\omega}) \\ jLPF(s+j\hat{\omega})-jLPF(s-j\hat{\omega}) & LPF(s+j\hat{\omega})+LPF(s-j\hat{\omega}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha(s) \\ v_\beta(s) \end{bmatrix}$$

将步骤3)中低通滤波函数带入上式,得到

$$\begin{bmatrix} v'_\alpha(s) \\ v'_\beta(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\omega_p(s+\omega_p)}{s^2+2\omega_p s+\omega_p^2+\hat{\omega}^2} & \frac{-\hat{\omega}\omega_p}{s^2+2\omega_p s+\omega_p^2+\hat{\omega}^2} \\ \frac{\hat{\omega}\omega_p}{s^2+2\omega_p s+\omega_p^2+\hat{\omega}^2} & \frac{\omega_p(s+\omega_p)}{s^2+2\omega_p s+\omega_p^2+\hat{\omega}^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha(s) \\ v_\beta(s) \end{bmatrix} \circ$$

2. 根据权利要求1所述的一种基于坐标变换的低通滤波反馈解耦特征信号提取方法,其特征在于:步骤5)中第一路输出为期望获得的工频信号,提取了输入信号基波频率附近的特征信号,其幅值与相角为输入采样信号 $v_i$ 滤除 $\hat{\omega}$ 以外频带信号的标准正弦信号,第二路输出作为反馈。

## 一种基于坐标变换的低通滤波反馈解耦特征信号提取方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种输入信号的特征提取方法,特别是输入信号基于坐标变换的低通滤波反馈解耦特征信号提取方法。

### 背景技术

[0002] 非接触测压在电力设备故障判断领域正在发挥着原来越重要的作用,其核心就是对采样信号的特征提取方法。过去,科研人员在特征提取方面做了很多工作。就目前来说特征提取方法主要由两种:统计分析法和时频域分析法。统计分析法指的是利用采样信号的统计分布的特点和参数来提取能够代表其主要特征的特征提取方法,主要有统计算子、Weibull参数、图像特征等。提取统计特征时间开销大且成功率低。

[0003] 时频域分析法又称为波形分析法,主要由时域和频域特征,小波域特征以及混沌特征,但是在实际现场应用中,采样信号通常受到现场复杂电磁环境的影响,信噪比低,衰减畸变严重,使得上述方法难以准确的提取到特征量,且易受噪声干扰,识别效果不稳定。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是:针对现有技术的不足,提供了一种基于坐标变换的低通滤波反馈解耦特征信号提取方法,解决在采样信号在复杂电磁环境下易受噪声干扰的问题,提高输入信号幅值相角特征提取的准确度与稳定性。

[0005] 本发明的目的是这样实现的:基于坐标变换的低通滤波反馈解耦特征信号提取方法,其具体步骤如下:

[0006] 1) 将采样信号 $v_i$ 与反馈信号 $v'_\beta$ 作为输入信号 $v_\alpha=v_i, v_\beta=v'_\beta$ ;

[0007] 2) 虚拟出50Hz频率的电网电压矢量角 $\hat{\theta}$ 作为Park变换的参考角度对 $v_\alpha, v_\beta$ 进行Park变换得到直流信号 $v_d, v_q$ ;

[0008] 3) 将Park变换后的直流信号 $v_d, v_q$ 通过低通滤波器,滤除其中衰减高频分量获得直流分量 $v'_d, v'_q$ ,所述 $v'_d$ 主要代表输入的电压幅值, $v'_q$ 主要代表输入电压的相位差;

[0009] 4) 滤波后的直流分量 $v'_d, v'_q$ 通过给定电网电压矢量角 $\hat{\theta}$ 进行反Park变化得到期望获得的工频信号和反馈信号 $v'_\alpha, v'_\beta$ ,所述 $v'_\alpha$ 是期望的工频信号, $v'_\beta$ 为反馈信号;

[0010] 5) 对特征信号 $v'_\alpha$ 提取,对反馈信号 $v'_\beta$ 进行反馈,第一路输出与第一路输入的关系表现为带通特性,第二路输出与第一路输入的关系表现为低通特性;

[0011] 所述 $v_i$ 为电网二次回路采样信号,利用反Park变换后的第二路输出 $v'_\beta$ 作为第二路输入。

[0012] 设定电网电压矢量角 $\hat{\theta}$ 对输入信号进行Park变换具体步骤如下:

[0013] 给定电网电压矢量角 $\hat{\theta}$ ,利用电压矢量角 $\hat{\theta}$ 对两相静止坐标系下的电压 $v_\alpha, v_\beta$ 进行Park变换,得到同步旋转坐标系下的电压的d、q分量,稳态时,d轴分量表示输入电压 $v_i$ 的幅值特性,q轴分量表示 $v_i$ 的相角特性。

[0014] 根据权利要求1所述的一种基于坐标变换的低通滤波反馈解耦的特征信号提取方法,其特征在于:步骤3中所述的低通滤波器为 $LPF(s) = \frac{\omega_p}{s + \omega_p}$ 其中 $\omega_p$ 为低通滤波器的截止频率。

[0015] 所述输出信号 $v'_\alpha$ 与 $v_i$ 的关系表现为以频率 $\hat{\omega}$ 为中心的带通特性,输出信号 $v'_\alpha$ 体现 $v_i$ 的基频幅值和相角特征;输出信号 $v'_\beta$ 与 $v_i$ 的关系表现为低通特性,输出信号 $v'_\beta$ 体现 $v_i$ 的幅值特征,相角与输入信号 $v_i$ 相差 $90^\circ$ ,即

$$[0016] \quad \begin{bmatrix} v'_\alpha(t) \\ v'_\beta(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\hat{\theta} & -\sin\hat{\theta} \\ \sin\hat{\theta} & \cos\hat{\theta} \end{bmatrix} \times \left\{ \begin{bmatrix} LPF(t) & 0 \\ 0 & LPF(t) \end{bmatrix} * \left\{ \begin{bmatrix} \cos\hat{\theta} & \sin\hat{\theta} \\ -\sin\hat{\theta} & \cos\hat{\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha(t) \\ v_\beta(t) \end{bmatrix} \right\} \right\}$$

[0017] 其中\*表示卷积运算,对上式两边同时进行拉普拉斯变换并整理可得下式:

$$[0018] \quad \begin{bmatrix} v'_\alpha(s) \\ v'_\beta(s) \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} LPF(s + j\hat{\omega}) + LPF(s - j\hat{\omega}) & -jLPF(s + j\hat{\omega}) + jLPF(s - j\hat{\omega}) \\ jLPF(s + j\hat{\omega}) - jLPF(s - j\hat{\omega}) & LPF(s + j\hat{\omega}) + LPF(s - j\hat{\omega}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha(s) \\ v_\beta(s) \end{bmatrix}$$

[0019] 将步骤3中低通滤波函数带入上式,得到

$$[0020] \quad \begin{bmatrix} v'_\alpha(s) \\ v'_\beta(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\omega_p(s + \omega_p)}{s^2 + 2\omega_p s + \omega_p^2 + \hat{\omega}^2} & \frac{-\hat{\omega}\omega_p}{s^2 + 2\omega_p s + \omega_p^2 + \hat{\omega}^2} \\ \frac{\hat{\omega}\omega_p}{s^2 + 2\omega_p s + \omega_p^2 + \hat{\omega}^2} & \frac{\omega_p(s + \omega_p)}{s^2 + 2\omega_p s + \omega_p^2 + \hat{\omega}^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha(s) \\ v_\beta(s) \end{bmatrix}$$

[0021] 步骤5中第一路输出为期望获得的工频信号,提取了输入信号基波频率附近的特征信号,其幅值与相角为采样信号 $v_i$ 滤除 $\hat{\omega}$ 以外频带信号的标准正弦信号,第二路输出作为反馈。

[0022] 本发明的有益效果是:能够解决在采样信号在复杂电磁环境下易受噪声干扰的问题,提高输入信号幅值相角特征提取的准确度与稳定性。

## 附图说明

- [0023] 图1为本发明方法的控制结构示意图;  
 [0024] 图2为本发明第一路带通滤波特性示意图;  
 [0025] 图3为本发明第二路低通滤波特性示意图;  
 [0026] 图4为带有三次和五次谐波的输入信号示意图;  
 [0027] 图5为经过算法模块后的第一路输出信号示意图;  
 [0028] 图6为经过算法模块后的两路输出信号示意图;  
 [0029] 图7为输入信号FFT分析结果示意图;  
 [0030] 图8为第一路输出信号FFT分析结果示意图。

## 具体实施方式

[0031] 下面结合说明书附图对本发明进行进一步详述:

[0032] 本发明涉及一种基于坐标变换的低通滤波反馈解耦特征信号提取方法,其共分为

有五个步骤:1.采样信号和反Park变换后反馈信号构成静止正交坐标系;2.电网电压矢量角作为参考角度对输入信号Park变换;3.直流信号的低通滤波;4.滤波后直流信号的反Park变换;5.带通滤波输出信号的提取和低通滤波输出信号的反馈;

[0033] 步骤一、利用第一路采样信号 $v_i$ ,反馈信号 $v'_\beta$ 作为输入信号 $v_\alpha=v_i, v_\beta=v'_\beta$ 。

[0034] 步骤二、虚拟出50Hz频率的电网电压矢量角 $\hat{\theta}$ 作为Park变换的参考角度对 $v_\alpha, v_\beta$ 进行Park变换得到直流信号 $v_d, v_q$ 。

[0035] 步骤三、将Park变换后的直流信号 $v_d, v_q$ 通过低通滤波器,滤除其中衰减高频分量获得直流分量 $v'_d, v'_q, v'_d$ 主要代表输入的电压幅值, $v'_q$ 主要代表输入电压的相位差。

[0036] 步骤四、滤波后的直流分量进行反Park变化得到期望获得的工频信号和反馈信号 $v'_\alpha, v'_\beta, v'_\alpha$ 是期望的工频信号, $v'_\beta$ 为构成静止坐标系所需要的正交信号。

[0037] 步骤五、对特征信号 $v'_\alpha$ 提取,对反馈信号 $v'_\beta$ 进行反馈,第一路输出与输入的关系表现为带通特性,第二路输出与输入的关系表现为低通特性。

[0038] 所述采样信号和反Park变换后反馈信号构成静止正交坐标系的过程:

[0039] 步骤1.1采样获得电网二次回路采样信号作为第一路输入 $v_i$ ;

[0040] 步骤1.2

[0041] 将采样信号 $v_i$ ,反馈信号 $v'_\beta$ 作为输入信号。

[0042] 所述电网电压矢量角作为参考角度对输入信号Park变换的过程:

[0043] 步骤2.1虚拟出50Hz频率的电网电压矢量角 $\hat{\theta}$ ,利用电压矢量角 $\hat{\theta}$ 对两相静止坐标系下的电压 $v_\alpha, v_\beta$ 进行Park变换,得到同步旋转坐标系下的电压的d、q分量 $v_d, v_q$ ,稳态时,d轴分量表示输入电压 $v_i$ 的幅值特性,q轴分量表示输入电压 $v_i$ 的相角特性。

[0044] 所述直流信号的低通滤波过程:

[0045] 步骤3.1将输入的信号 $v_d, v_q$ 通过低通滤波器 $LPF(s) = \frac{\omega_p}{s + \omega_p}$ 滤除高频噪声,其中 $\omega_p$ 为低通滤波器的截止频率,得到直流分量 $v'_d, v'_q$ ,稳态时,d轴分量表示输入电压 $v_i$ 的幅值特性,q轴分量表示输入电压 $v_i$ 的相角特性,实现了状态量的解耦。

[0046] 所述滤波后直流信号的反Park变换过程:

[0047] 步骤4.1将 $v'_d, v'_q$ 通过反Park变换得到期望输出的工频信号 $v'_\alpha, v'_\beta$ ;

[0048] 步骤4.2输出信号 $v'_\alpha$ 与输入信号 $v_i$ 的关系表现为以频率 $\hat{\omega}$ 为中心的带通特性,输出信号 $v'_\alpha$ 能够体现输入信号 $v_i$ 的基频特征。

[0049] 步骤4.3输出信号 $v'_\beta$ 与输入信号 $v_i$ 的关系表现为低通特性,输出信号 $v'_\beta$ 能够体现输入信号 $v_i$ 的幅值特征,相角与输入信号 $v_i$ 相差 $90^\circ$ 。

$$[0050] \quad \begin{bmatrix} v'_\alpha(t) \\ v'_\beta(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\hat{\theta} & -\sin\hat{\theta} \\ \sin\hat{\theta} & \cos\hat{\theta} \end{bmatrix}^{\alpha\beta \leftarrow dq} \times \left\{ \begin{bmatrix} LPF(t) & 0 \\ 0 & LPF(t) \end{bmatrix}^{low-pass} * \left\{ \begin{bmatrix} \cos\hat{\theta} & \sin\hat{\theta} \\ -\sin\hat{\theta} & \cos\hat{\theta} \end{bmatrix}^{dq \leftarrow \alpha\beta} \begin{bmatrix} v_\alpha(t) \\ v_\beta(t) \end{bmatrix} \right\} \right\}$$

[0051] 其中\*表示卷积运算,对上式两边同时进行拉普拉斯变换并整理可得下式:

$$[0052] \quad \begin{bmatrix} v'_\alpha(s) \\ v'_\beta(s) \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} LPF(s+j\hat{\omega})+LPF(s-j\hat{\omega}) & -jLPF(s+j\hat{\omega})+jLPF(s-j\hat{\omega}) \\ jLPF(s+j\hat{\omega})-jLPF(s-j\hat{\omega}) & LPF(s+j\hat{\omega})+LPF(s-j\hat{\omega}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha(s) \\ v_\beta(s) \end{bmatrix}$$

[0053] 将步骤3.1中低通滤波函数带入上式:

$$[0054] \quad \begin{bmatrix} v_{\alpha}'(s) \\ v_{\beta}'(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\omega_p (s + \omega_p)}{s^2 + 2\omega_p s + \omega_p^2 + \hat{\omega}^2} & \frac{-\hat{\omega}\omega_p}{s^2 + 2\omega_p s + \omega_p^2 + \hat{\omega}^2} \\ \frac{\hat{\omega}\omega_p}{s^2 + 2\omega_p s + \omega_p^2 + \hat{\omega}^2} & \frac{\omega_p (s + \omega_p)}{s^2 + 2\omega_p s + \omega_p^2 + \hat{\omega}^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{\alpha}(s) \\ v_{\beta}(s) \end{bmatrix}$$

[0055] 所述带通滤波输出信号的提取和低通滤波输出信号的反馈过程：

[0056] 步骤5.1其中第一路输出为期望获得的工频信号,提取了输入信号基波频率附近的特征信号,其幅值与相角为输入采样信号 $v_i$ 滤除 $\hat{\omega}$ 以外频带信号的标准正弦信号。

[0057] 步骤5.2其中第二路输出作为反馈与输入信号 $v_i$ 构成静止正交坐标系。

[0058] 具体实验参数为：

电网基波信号	
幅值	20mV
相角	0
频率	50Hz
谐波信号 1	
幅值	3mV
相角	30
频率	150Hz
谐波信号 2	
幅值	2mV
相角	30
频率	250Hz

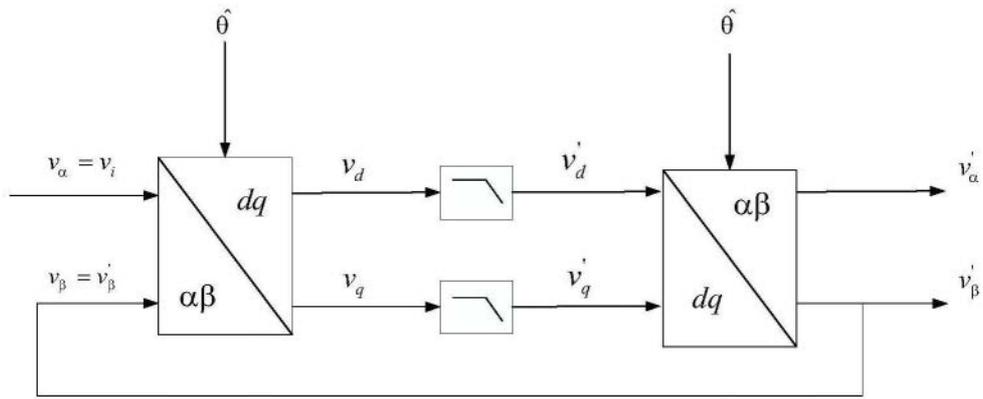


图1

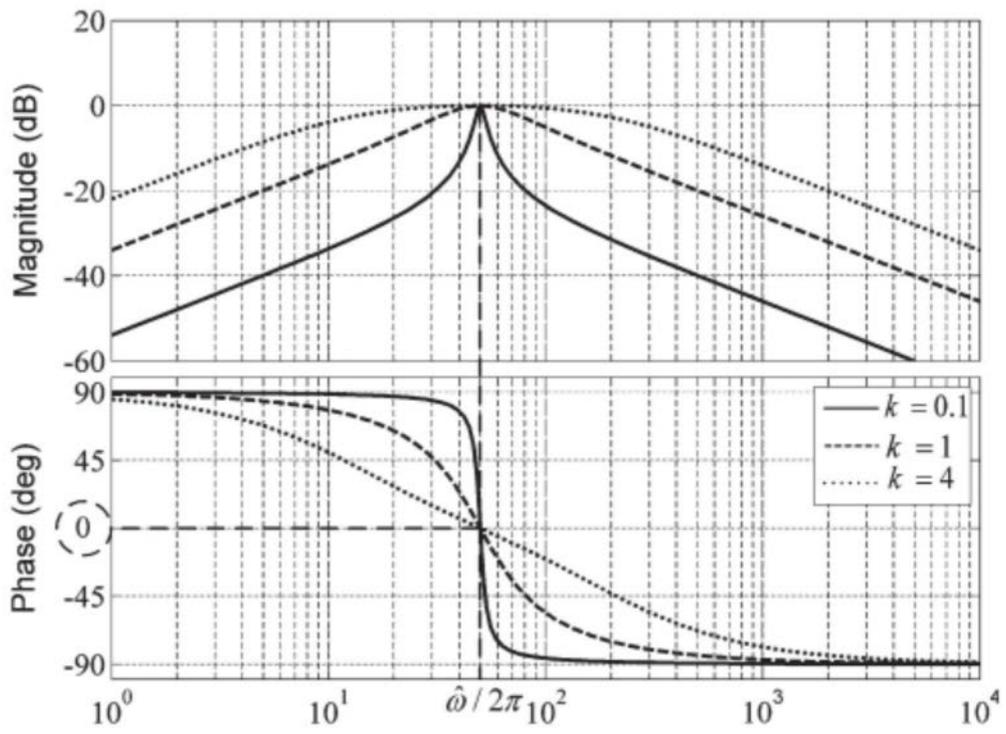


图2

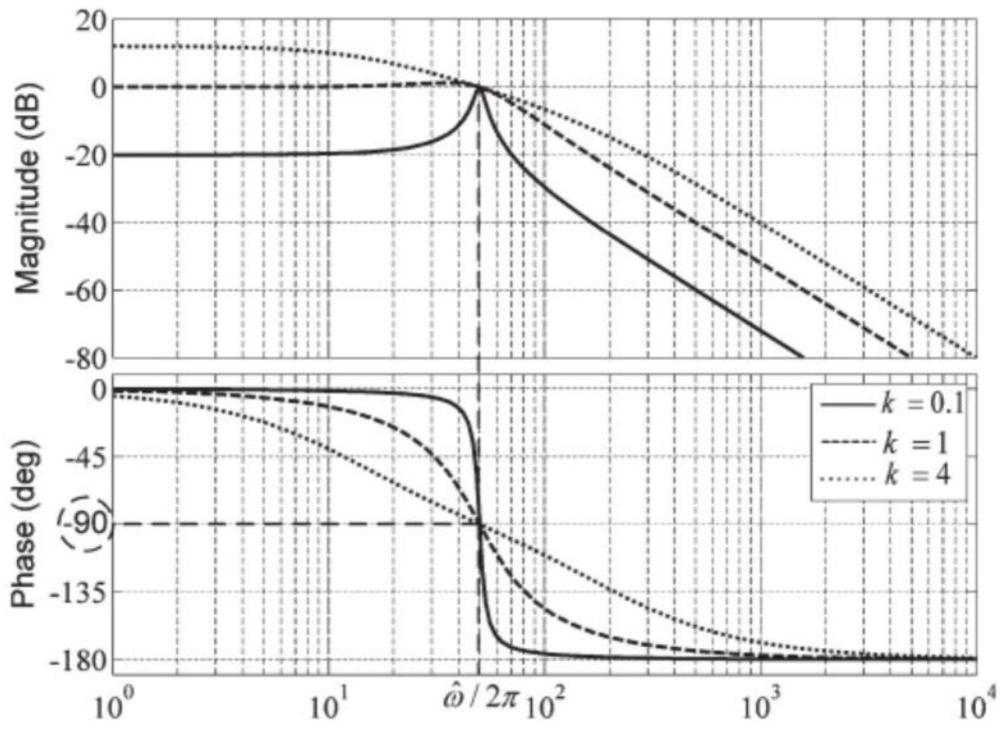


图3

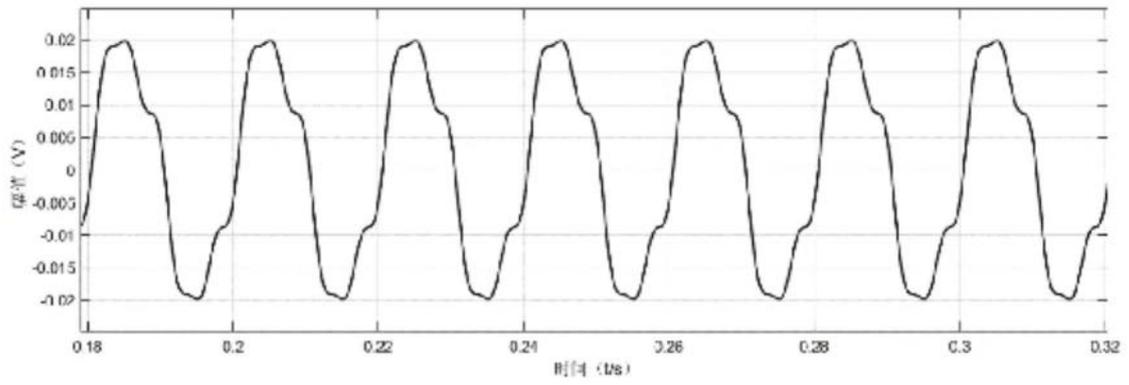


图4

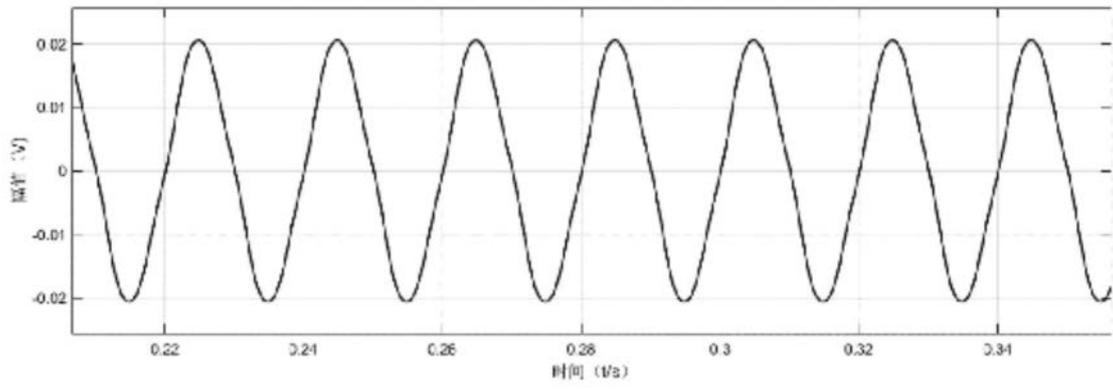


图5

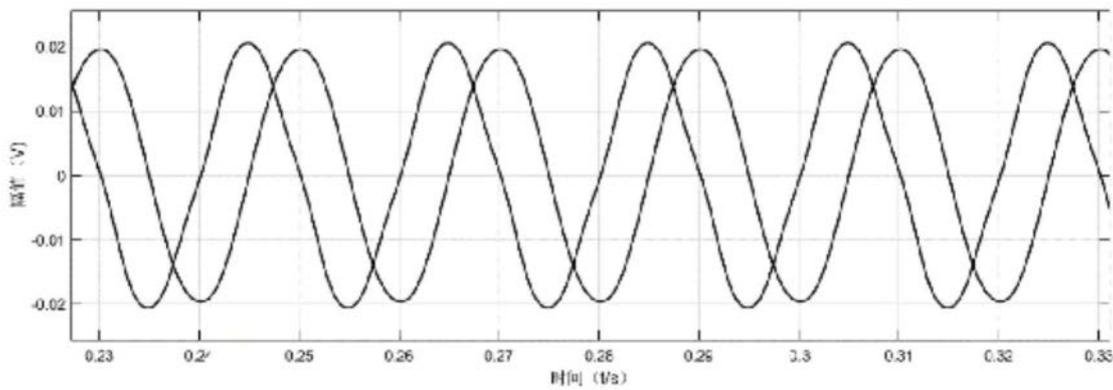


图6

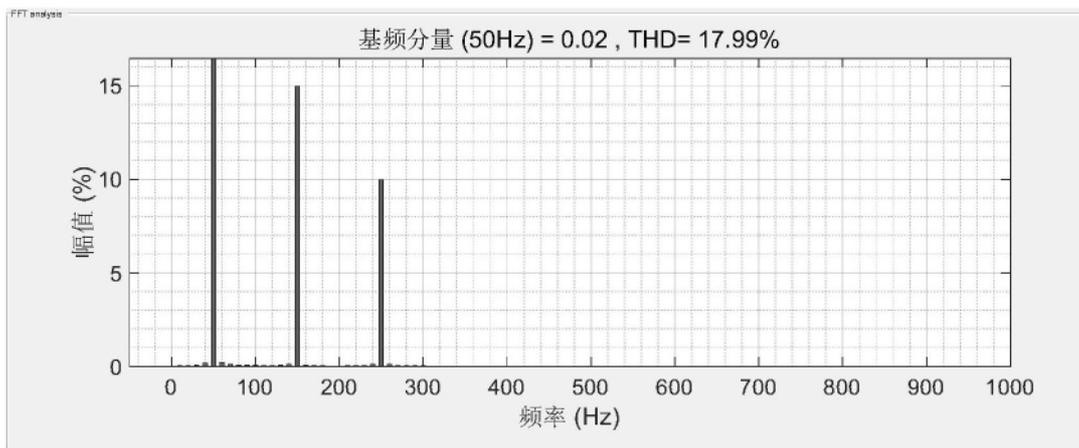


图7

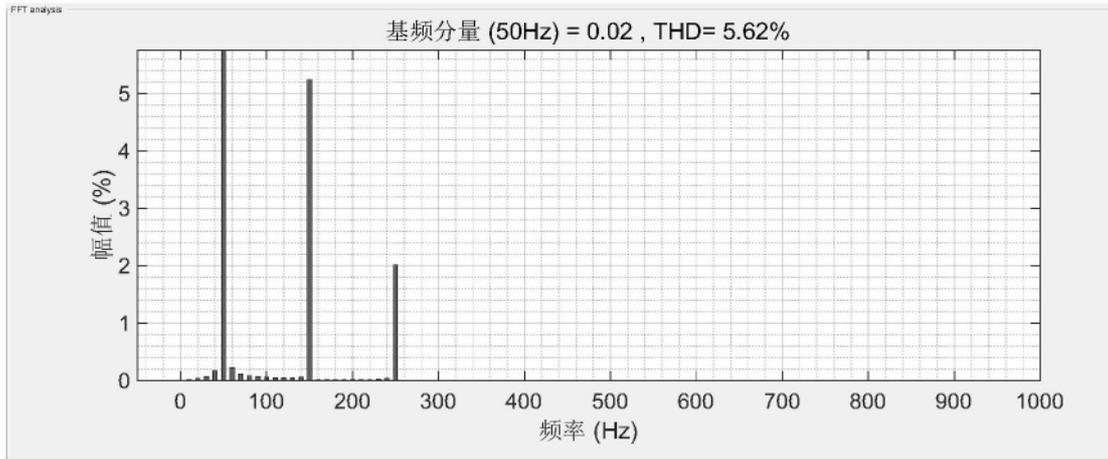


图8