



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111999607 B

(45) 授权公告日 2021.08.20

(21) 申请号 202010699514.6

G06K 9/62 (2006.01)

(22) 申请日 2020.07.20

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111999607 A

CN 109917022 A, 2019.06.21

CN 111025100 A, 2020.04.17

CN 107832777 A, 2018.03.23

(43) 申请公布日 2020.11.27

CN 108982958 A, 2018.12.11

(73) 专利权人 中国南方电网有限责任公司超高压输电公司广州局

CN 101533091 A, 2009.09.16

CN 108090270 A, 2018.05.29

地址 510663 广东省广州市萝岗区科学城科学大道223号2号楼

CN 111308285 A, 2020.06.19

CN 109916625 A, 2019.06.21

CN 106202977 A, 2016.12.07

(72) 发明人 牛峥 罗新 李乾坤 石延辉
谢超 谭华安 刘春涛 黄学民
陈为庆 欧阳聪

WO 2006118433 A1, 2006.11.09

EP 1611521 A2, 2006.01.04

(74) 专利代理机构 广州科粤专利商标代理有限公司 44001

刘宇舜等.基于单通道盲源分离算法的局部放电高频信号去噪方法.《电工技术学报》.2018,第33卷(第23期),

代理人 周友元 黄培智

审查员 刘颖

(51) Int. Cl.

G01R 31/12 (2006.01)

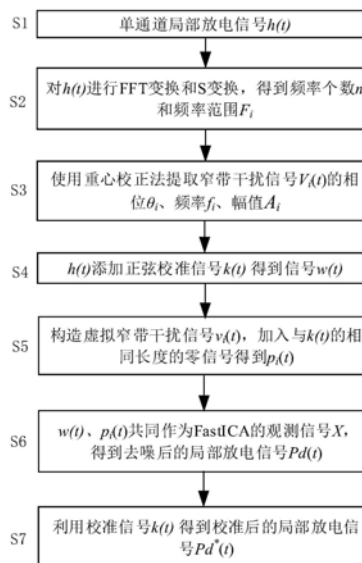
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

一种单通道信号下局部放电窄带干扰盲源分离方法及装置

(57) 摘要

本发明公开了一种单通道信号下局部放电窄带干扰盲源分离方法及装置,包括:S1、输入待去噪的单通道局部放电信号 $h(t)$;S2、对 $h(t)$ 进行FFT变换和S变换,获取窄带干扰的信号的个数 n 和频率范围 F_i ;S3、使用重心校正法提取出各个窄带干扰信号 $v_i(t)$ 的相位 θ_i 、频率 f_i 、幅值 A_i ;S4、在 $h(t)$ 后添加正弦校准信号 $k(t)$,记为信号 $w(t)$;S5、构造虚拟窄带干扰信号 $v_i(t)$,加入与 $k(t)$ 相同长度的零信号得到 $p_i(t)$;S6、将 $w(t)$ 和 $p_i(t)$ 共同作为盲源分离算法FastICA的观测信号 X ,得到去噪后的局部放电信号 $Pd(t)$;S7、利用 $k(t)$ 的幅值与相位的先验知识,得到校准后的局部放电信号 $Pd^*(t)$ 。本发明能有效地去除局部放电信号中混杂的窄带干扰信号。



CN 111999607 B

1. 一种单通道信号下局部放电窄带干扰盲源分离方法,其特征在於:包括以下步骤:

S1、输入待去噪的单通道局部放电信号 $h(t)$;

S2、对 $h(t)$ 进行FFT变换和S变换,获取窄带干扰的信号个数 n 和频率范围 $F_i (i=1, 2, \dots, n)$;

S3、使用重心校正法提取出各个窄带干扰信号 $V_i(t)$ 的相位 θ_i 、频率 f_i 、幅值 A_i ;

S4、在 $h(t)$ 后添加正弦校准信号 $k(t)$,记为信号 $w(t)$;

S5、根据步骤S3中估算出的窄带干扰的相位 θ_i 、频率 f_i 、幅值 A_i 构造虚拟窄带干扰信号 $v_i(t)$,加入与 $k(t)$ 相同长度的零信号 $z(t)$,记为 $p_i(t)$;

S6、将 $w(t)$ 和 $p_i(t)$ 共同作为盲源分离算法FastICA的观测信号 X ,完成对 $h(t)$ 中窄带干扰信号的分离,得到去噪后的局部放电信号 $Pd(t)$;

S7、利用 $k(t)$ 的幅值与相位的先验知识,完成 $Pd(t)$ 的幅值与相位校准,得到校准后的局部放电信号 $Pd^*(t)$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种单通道信号下局部放电窄带干扰盲源分离方法,其特征在於:所述步骤S2包括:

S21、对 $h(t)$ 进行FFT变换和S变换,得到频谱图和二维时频分布图;

S22、根据周期性窄带干扰在频谱中呈现尖峰状和周期性窄带干扰在时频分布图上频率分布集中且持续时间长的特点,二者联合分析得到窄带干扰的信号个数 n 和频率范围 $F_i (i=1, 2, \dots, n)$ 。

3. 根据权利要求1所述一种单通道信号下局部放电窄带干扰盲源分离方法,其特征在於:所述步骤S3包括以下步骤:

S31、当 $j=1$,使用能量重心法对将窄带干扰的频率 f_1 、幅值 A_1 、相位 θ_1 进行校正;

S32、对 $j=i$,使用能量重心法对窄带干扰的频率 f_i 、幅值 A_i 、相位 θ_i 进行校正;

S33、不断往复进行步骤S32,直到 $j=n$,完成所有窄带干扰的频率、幅值、相位的校正。

4. 根据权利要求3所述一种单通道信号下局部放电窄带干扰盲源分离方法,其特征在於:所述步骤S32包括以下步骤:

(a) 对 $h(t)$ 采用汉宁窗函数 $w(m)$ 进行分析,汉宁窗的定义为:

$$w(m) = 0.5 - 0.5 \cos \frac{2\pi m}{N} \quad m = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

其中, N 为采样点总数;

(b) 对 $h(t) \cdot w(m)$ 进行FFT变换,根据 F_i 确定窄带干扰对应的频谱的序列号范围 $[n_{i1}, n_{i2}]$,在 $[n_{i1}, n_{i2}]$ 寻找到频谱最大峰值对应的序列号 k_i ;

(c) 汉宁窗旁瓣的功率谱值远小于主瓣的值,根据其能量重心的特性,利用最大峰值 y_{k_i} 对应的序列号 k_i 附近的功率谱值 y_{k_i+1} 较大的谱线完成窄带干扰信号的 f_i 、 A_i 、 θ_i 的校正;

其中, f_i 校正公式为:

$$f_i = \frac{\sum_{l=-a}^a y_{k_i+l} (k_i + l) f_s / N}{\sum_{l=-a}^a y_{k_i+l}}$$

A_i 校正公式为:

$$A_i = \sqrt{K_i \sum_{l=a}^a y_{k+l}}$$

设最大峰值 y_{k_i} 对应的序列号 k_i 处的FFT系数的实部为 R_{k_i} ,虚部为 I_{k_i} ,则 θ_i 校正值为:

$$\theta_i = \arctan(I_{k_i}/R_{k_i}) + \pi(f_k - f_i)$$

其中, f_s 为采样频率,取 k 左右3个谱线值进行校正,故 $a=3$,因为采用汉宁窗, $K_i=8/3$ 。

5. 根据权利要求1所述一种单通道信号下局部放电窄带干扰盲源分离方法,其特征在于:所述步骤S6包括以下步骤:

S61、对观测信号 X 减去其均值得到 X' ;对 X' 进行白化操作:

$$Z = ED^{-0.5}E^T X'$$

其中, E 、 D 分别为 $E\{X'X'^T\}$ 的特征向量组成的正交矩阵和其特征值组成的对角矩阵, $D = \text{diag}(d_1, d_2, \dots, d_n)$, $D^{-0.5} = \text{diag}(d_1^{-0.5}, d_2^{-0.5}, \dots, d_n^{-0.5})$, Z 为白化后的观测信号;

S62、选择需要估计的分量的个数 Count , $p \leftarrow 1$;

S63、随机生成一个初始权矢量 W_p ;

S64、令 $W_p = E(Zg(W_p^T Z)) - E(g(W_p^T Z))W_p$,其中 $g(y) = \tanh(y)$, $E(\cdot)$ 表示求均值;

S65、 $W_p = \frac{W_p}{\|W_p\|}$,其中 $\|\cdot\|$ 表示求范数;

S66、若 W_p 不收敛,则返回步骤S64;

S67、令 $p = p + 1$;若 $p \leq \text{Count}$,则返回步骤S63;

S68、利用 $Z = W_p^T Z$,完成各独立分量的分离,从而完成对 $h(t)$ 中窄带干扰信号的分离,得到去噪后的局部放电信号。

6. 根据权利要求1所述一种单通道信号下局部放电窄带干扰盲源分离方法,其特征在于:所述步骤S7包括以下步骤:

S71、定义信号 $k(t)$ 初始幅值 A_k ,经过FastICA后得到 $k^*(t)$,幅值变为 A_k^* ,则幅值倍数为

$$R = \frac{A_k}{A_k^*};$$

S72、如果 $k(t)$ 与 $k^*(t)$ 相位相差 0° ,则 $Pd^*(t) = R * Pd(t)$;否则 $Pd^*(t) = -R * Pd(t)$ 。

7. 一种单通道信号下局部放电窄带干扰盲源分离装置,包括存储器、处理器以及存储在存储器中并可在处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述程序时实现如权利要求1-6任一分离方法的步骤。

8. 一种计算机可读存储介质,所述的计算机可读存储介质存储有计算机程序,其特征在于,所述的计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1-6任一分离方法的步骤。

一种单通道信号下局部放电窄带干扰盲源分离方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及局部放电在线监测领域,具体涉及单通道信号下电气设备带电局部放电检测的窄带干扰盲源分离方法及装置。

背景技术

[0002] PD检测是评判设备的绝缘状态、及时发现设备内部缺陷的重要手段。在电气设备运行现场通常有强烈的噪声干扰,而微弱的局部放电信号(一般为mV级),容易淹没在现场强烈的干扰中,检测装置难于检测到局部放电信号,影响运维人员对电气设备运行状态的评估。

[0003] 在设备运行现场,局部放电信号中主要有高斯白噪声干扰和周期性窄带干扰,其中周期性窄带干扰是电气设备现场运行中的典型干扰。目前局部放电的周期性窄带干扰去噪方法主要包括硬件去噪方法和数字化方法。硬件去噪方法主要有选择窄带滤波器和带通滤波电路进行去噪,软件去噪方法主要有快速傅里叶阈值滤波法、经验模态分解类去噪方法、小波变换类去噪方法。硬件方法抑制窄带干扰需要根据干扰频带的先验知识,通用性差,而数字化方法去噪效果好,得到国内外学者的广泛研究。由于不同周期性窄带干扰信号可以看成频率不同的正余弦波信号,比较通用的做法是根据快速傅里叶变换通过频谱得到窄带干扰信号频率,采用经典阈值法进行滤波,但仍保留一部分窄带干扰,去噪效果不好。

[0004] 盲源分离是指仅由观测信号即可恢复出源信号各个分量的过程。为了能分离出源信号各个分量,要求盲源分离的观测信号数量大于等于源信号数量。目前应用于工程较多的检测局部放电的手段主要为脉冲电流法和特高频法等方法。通过布置多个传感器检测局部放电数据,但是在运行过程中存在传感器失灵,多个传感器之间存在串扰等问题,导致只有一个或者少数几个传感器得到较好的检测信号,不满足盲源分离算法分离要求。

[0005] 故有必要研究单一传感器下得到的局部放电信号盲源分离去噪方法。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于克服现有技术的缺点与不足,提供一种单通道信号下局部放电窄带干扰盲源分离方法,该去噪方法能有效地去除局部放电信号中混杂的窄带干扰信号。

[0007] 为实现上述目的,本发明的技术方案为:

[0008] 一种单通道信号下局部放电窄带干扰盲源分离方法,包括以下步骤:

[0009] S1、输入待去噪的单通道局部放电信号 $h(t)$;

[0010] S2、对 $h(t)$ 进行FFT变换和S变换,获取窄带干扰的信号个数 n 和频率范围 $F_i (i=1,2,\dots,n)$;

[0011] S3、使用重心校正法提取出各个窄带干扰信号 $V_i(t)$ 的相位 θ_i 、频率 f_i 、幅值 A_i ;

[0012] S4、在 $h(t)$ 后添加正弦校准信号 $k(t)$,记为信号 $w(t)$;

[0013] S5、根据步骤S3中估算出的窄带干扰的相位 θ_i 、频率 f_i 、幅值 A_i 构造虚拟窄带干扰信号 $v_i(t)$,加入与 $k(t)$ 相同长度的零信号 $z(t)$,记为 $p_i(t)$;

[0014] S6、将 $w(t)$ 和 $p_i(t)$ 共同作为盲源分离算法FastICA的观测信号 X ,完成对 $h(t)$ 中窄带干扰信号的分离,得到去噪后的局部放电信号 $P_d(t)$;

[0015] S7、利用 $k(t)$ 的幅值与相位的先验知识,完成 $P_d(t)$ 的幅值与相位校准,得到校准后的局部放电信号 $P_d^*(t)$ 。

[0016] 本发明还提供一种单通道信号下局部放电窄带干扰盲源分离装置,包括存储器、处理器以及存储在存储器中并可在处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述程序时实现上述分离方法的步骤。

[0017] 本发明还提供一种计算机可读存储介质,所述的计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述的计算机程序被处理器执行时实现上述分离方法的步骤。

[0018] 与现有技术相比,本发明的有益效果在于:

[0019] 1、本发明根据窄带干扰通过FFT频谱与S变换下不同的特点,可得到窄带干扰的信号的个数 n 和频率范围 $F_i (i=1,2,\dots,n)$;通过能量重心法精确提出窄带干扰的信息,将 $w(t)$ 和 $p_i(t)$ 共同作为FastICA的观测信号 X ,将单通道PD信号转化为多通道信号,解决单通道PD信号盲源分离的欠定问题。

[0020] 2、本发明引入盲源分离算法,克服了传统傅里叶阈值去噪法窄带干扰傅里叶系数难以确定,阈值函数选取标准不一,导致窄带干扰不能很好地被滤除的缺陷。

[0021] 3、本发明利用 $k(t)$ 的幅值与相位的先验知识,得到校准后的局部放电信号 $P_d^*(t)$,简单而高效地克服盲源分离算法带来的幅值和相位的不确定性。

附图说明

[0022] 图1为本发明的一种单通道信号下带电局部放电窄带干扰盲源分离方法流程图。

[0023] 图2为染噪信号 $h(t)$ 。

[0024] 图3为S变换得到的时频图。

[0025] 图4为FFT得到的频谱图。

[0026] 图5为 $w(t)$ 时域图;

[0027] 图6为 $v_1(t)$ 加入零信号得到的 $p_1(t)$ 时域图。

[0028] 图7为用本发明方法去噪后得到的校准后的局部放电信号图。

[0029] 图8为原始局部放电仿真信号。

具体实施方式

[0030] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0031] 如图1所示,一种单通道信号下局部放电窄带干扰盲源分离方法,包括以下步骤:

[0032] S1、输入待去噪的单通道局部放电信号 $h(t)$, $h(t)$ 由单指数衰减脉冲模型、双指数衰减脉冲模型、单指数衰减震荡模型、双指数衰减震荡模型模拟的PD信号与两个正弦规律的窄带干扰信号构成,参见图2。

[0033] S2、对 $h(t)$ 进行FFT变换和S变换,如图3和图4所示,可获取窄带干扰的信号的个数 n 和频率范围 $F_i (i=1,2,\dots,n)$ 。

[0034] 在图3和4中,窄带干扰的信号的个数为2、频率范围分别为 $[1.1,1.2]$ MHz、 $[9,12]$

MHz。

[0035] S3、根据步骤S2得到的信息,使用重心校正法精准地提取出各个窄带干扰信号 $V_i(t)$ 的相位 θ_i 、频率 f_i 、幅值 A_i 。

[0036] 在图3和4中,窄带干扰信号 $V_1(t)$ 的相位 44.9999° (实际 45°)、频率 1.00001MHz (实际 1MHz)、幅值 2mV (实际 2mV), $V_2(t)$ 的相位 30.0003° (实际 30°)、频率 9.999996MHz (实际 10MHz)、幅值 1.49889mV (实际 1.5mV),可见校正得到的窄带干扰信息与实际的基本一致,可用于窄带干扰的构造。

[0037] S4、在 $h(t)$ 后添加幅值为1的正弦校准信号 $k(t)$,记为信号 $w(t)$,如图5为 $w(t)$ 时域图。

[0038] S5、根据步骤S3中估算出的窄带干扰的相位 θ_i 、频率 f_i 、幅值 A_i 构造虚拟窄带干扰信号 $v_i(t)$,加入与 $k(t)$ 相同长度的零信号 $z(t)$,记为 $p_i(t)$,图6展示的是 $v_1(t)$ 加入零信号得到的 $p_1(t)$ 时域图。

[0039] S6、将 $w(t)$ 和 $p_i(t)$ 共同作为盲源分离算法FastICA的观测信号 X ,完成对 $h(t)$ 中窄带干扰信号的分离,得到去噪后的局部放电信号 $P_d(t)$ 。

[0040] S7、利用 $k(t)$ 的幅值与相位的先验知识,完成 $P_d(t)$ 的幅值与相位校准,得到校准后的局部放电信号 $P_d^*(t)$ 。

[0041] 进一步地,所述步骤S2包括:

[0042] S21、对 $h(t)$ 进行FFT变换和S变换,得到频谱图和二维时频分布图;

[0043] S22、根据周期性窄带干扰在频谱中呈现尖峰状和周期性窄带干扰在时频分布图上频率分布集中且持续时间长的特点,二者联合分析得到窄带干扰的信号的个数 n 和频率范围 $F_i(i=1,2,\dots,n)$ 。

[0044] 进一步地,所述步骤S3包括以下步骤:

[0045] S31、当 $j=1$,使用能量重心法对窄带干扰的频率 f_1 、幅值 A_1 、相位 θ_1 进行校正;

[0046] S32、对 $j=i$,使用能量重心法对窄带干扰的频率 f_i 、幅值 A_i 、相位 θ_i 进行校正;

[0047] S33、不断往复进行步骤S32,直到 $j=n$,完成所有窄带干扰的频率、幅值、相位的校正。

[0048] 进一步地,所述步骤S32包括以下步骤:

[0049] (a)对 $h(t)$ 采用汉宁窗函数 $w(m)$ 进行分析,汉宁窗的定义为:

$$[0050] \quad w(m) = 0.5 - 0.5 \cos \frac{2\pi m}{N} \quad m = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

[0051] 其中, m 为采样点总数;

[0052] (b)对 $h(t) \cdot w(m)$ 进行FFT变换,根据 F_i 确定窄带干扰对应的频谱的序列号范围 $[n_{i1}, n_{i2}]$,在 $[n_{i1}, n_{i2}]$ 寻找到频谱最大峰值对应的序列号 k_i ;

[0053] (c)汉宁窗旁瓣的功率谱值远小于主瓣的值,根据其能量重心的特性,利用最大峰值 y_{k_i} 对应的序列号 k_i 附近的功率谱值 y_{k_i+1} 较大的谱线完成窄带干扰信号的 f_i 、 A_i 、 θ_i 的校正;

[0054] 其中, f_i 校正公式为:

$$[0055] \quad f_i = \frac{\sum_{l=-a}^a y_{k+l} (k_i + l) f_s / N}{\sum_{l=-a}^a y_{k+l}}$$

[0056] A_i 校正公式为:

$$[0057] \quad A_i = \sqrt{K_t \sum_{l=-a}^a y_{k+l}}$$

[0058] 设最大峰值 y_{k_i} 对应的序列号 k_i 处的FFT系数的实部为 R_{k_i} ,虚部为 I_{k_i} ,则 θ_i 校正值为:

$$[0059] \quad \theta_i = \arctan(I_{k_i}/R_{k_i}) + \pi(f_k - f_i)$$

[0060] 其中, f_s 为采样频率,在这里取 k 左右3个谱线值进行校正,故 $a=3$,因为采用汉宁窗, $K_t=8/3$ 。

[0061] 进一步地,所述步骤S6包括以下步骤:

[0062] S61、对观测信号 X 减去其均值得到 X' ;对 X' 进行白化操作:

$$[0063] \quad Z = ED^{-0.5}E^T X'$$

[0064] 其中, E 、 D 分别为 $E\{X'X'^T\}$ 的特征向量组成的正交矩阵和其特征值组成的对角矩阵, $D = \text{diag}(d_1, d_2, \dots, d_n)$, $D^{-0.5} = \text{diag}(d_1^{-0.5}, d_2^{-0.5}, \dots, d_n^{-0.5})$, Z 为白化后的观测信号;

[0065] S62、选择需要估计的分量的个数 Count , $p \leftarrow 1$;

[0066] S63、随机生成一个初始权矢量 W_p ;

[0067] S64、令 $W_p = E(Zg(W_p^T Z)) - E(g'(W_p^T Z))W_p$,其中 $g(y) = \tanh(y)$, $E(\cdot)$ 表示求均值;

[0068] S65、 $W_p = \frac{W_p}{\|W_p\|}$,其中 $\|\cdot\|$ 表示求范数;

[0069] S66、若 W_p 不收敛,则返回步骤S64;

[0070] S67、令 $p = p + 1$;若 $p \leq \text{Count}$,则返回步骤S63;

[0071] S68、利用 $Z = W_p^T Z$,完成各独立分量的分离,从而完成对 $h(t)$ 中窄带干扰信号的分离,得到去噪后的局部放电信号。

[0072] 进一步地,所述步骤S7包括以下步骤:

[0073] S71、定义信号 $k(t)$ 初始幅值 A_k ,经过FastICA后得到 $k^*(t)$,幅值变为 A_k^* ,则幅值倍

数为 $R = \frac{A_k}{A_k^*}$;

[0074] S72,如果 $k(t)$ 与 $k^*(t)$ 相位相差 0° ,则 $Pd^*(t) = R * Pd(t)$;否则 $Pd^*(t) = -R * Pd(t)$ 。

[0075] 参看图7,本实施例得到的去噪后经过校准后的局部放电信号如图7所示。经过与图8的原始局部放电仿真信号对比可得知,本发明的方法能够很好地去掉窄带干扰。

[0076] 另外,本发明实现上述实施例方法中的全部或部分流程,也可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一计算机可读存储介质中,该计算机程序在被处理器执行时,可实现上述各个方法实施例的步骤。其中,所述计算机程序包括计算机程序代码,所述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机可读介质可以包括:能够携带所述计算机程序代码的任何实体

或装置、记录介质、U盘、移动硬盘、磁碟、光盘、计算机存储器、只读存储器 (ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器 (RAM, Random Access Memory) 等。

[0077] 上述实施例只是为了说明本发明的技术构思及特点,其目的是在于让本领域内的普通技术人员能够了解本发明的内容并据以实施,并不能以此限制本发明的保护范围。凡是根据本发明内容的实质所做出的等效的变化或修饰,都应涵盖在本发明的保护范围内。

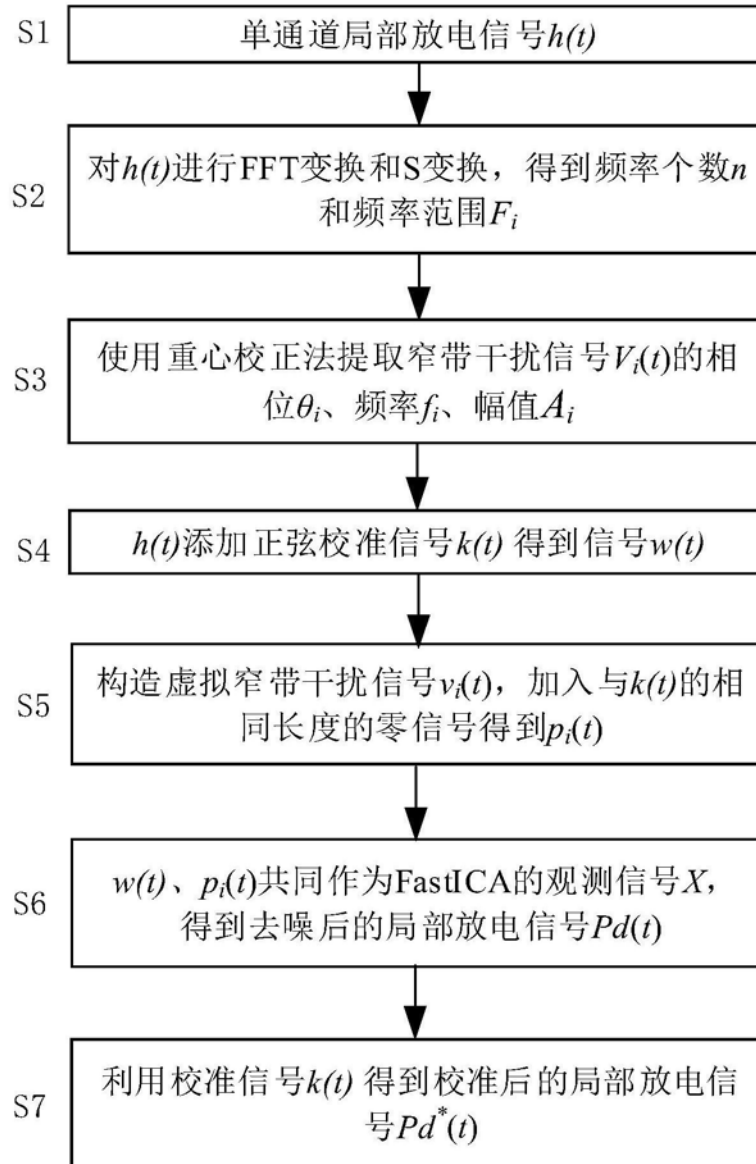


图1

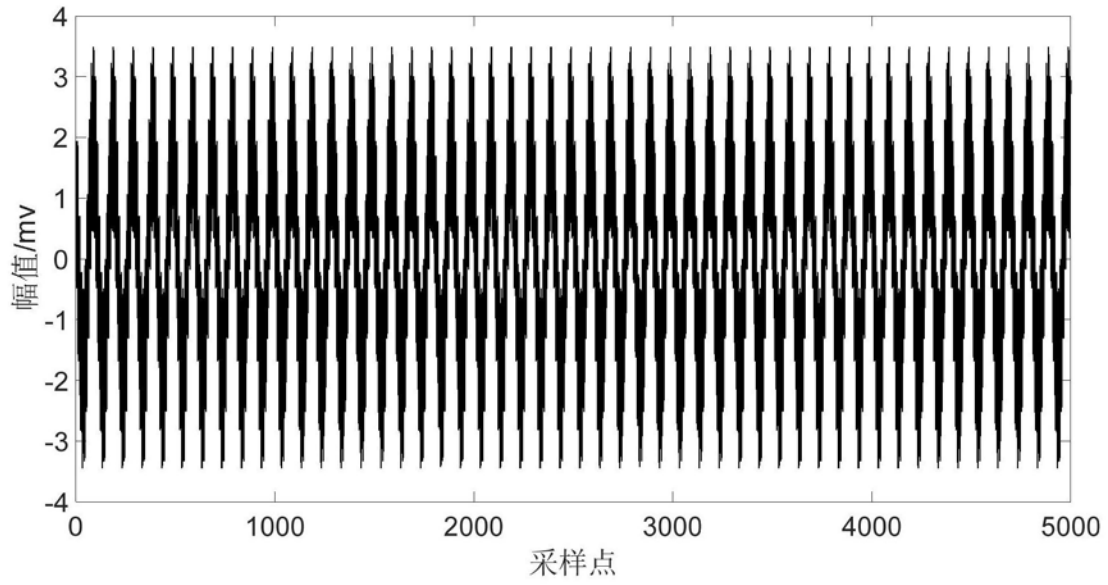


图2

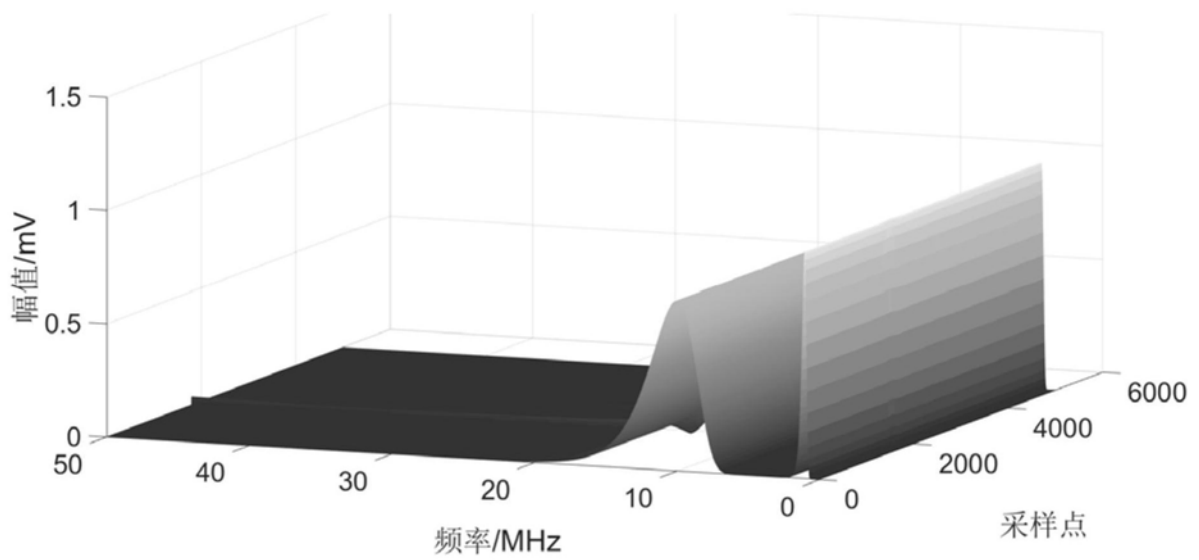


图3

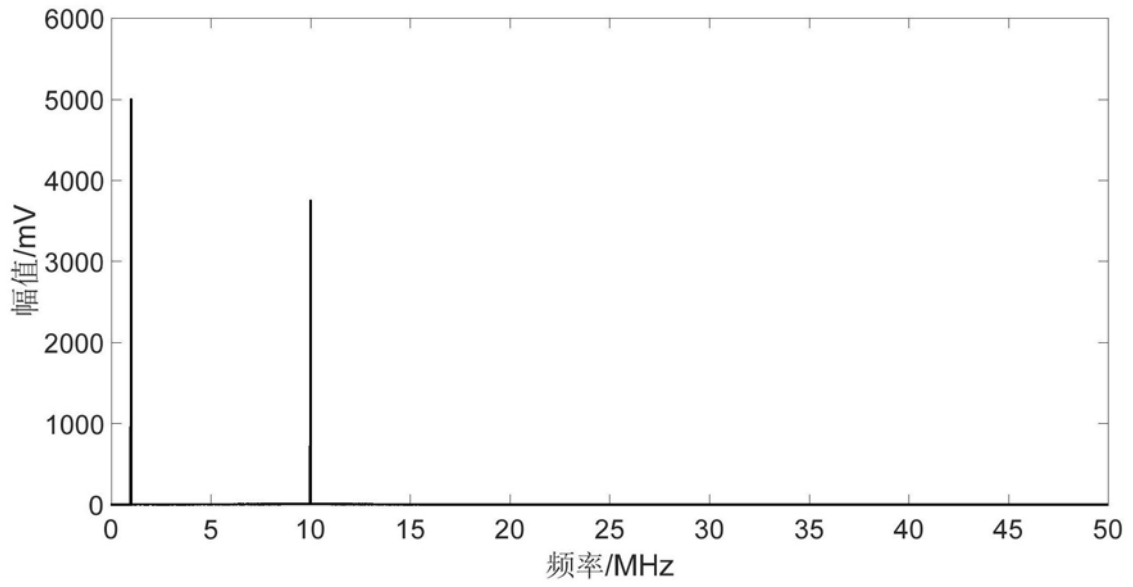


图4

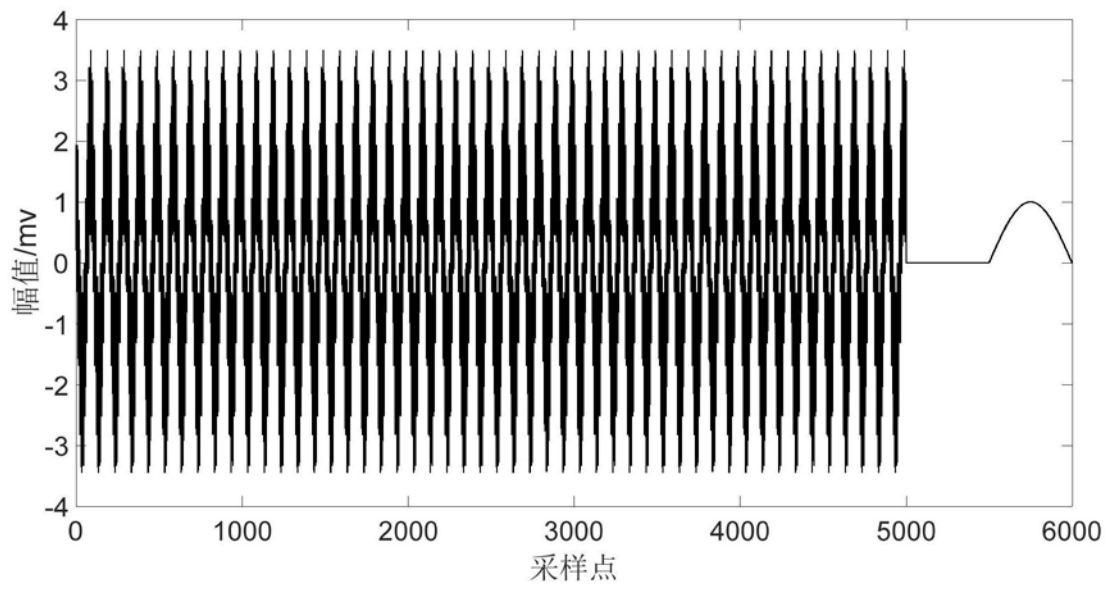


图5

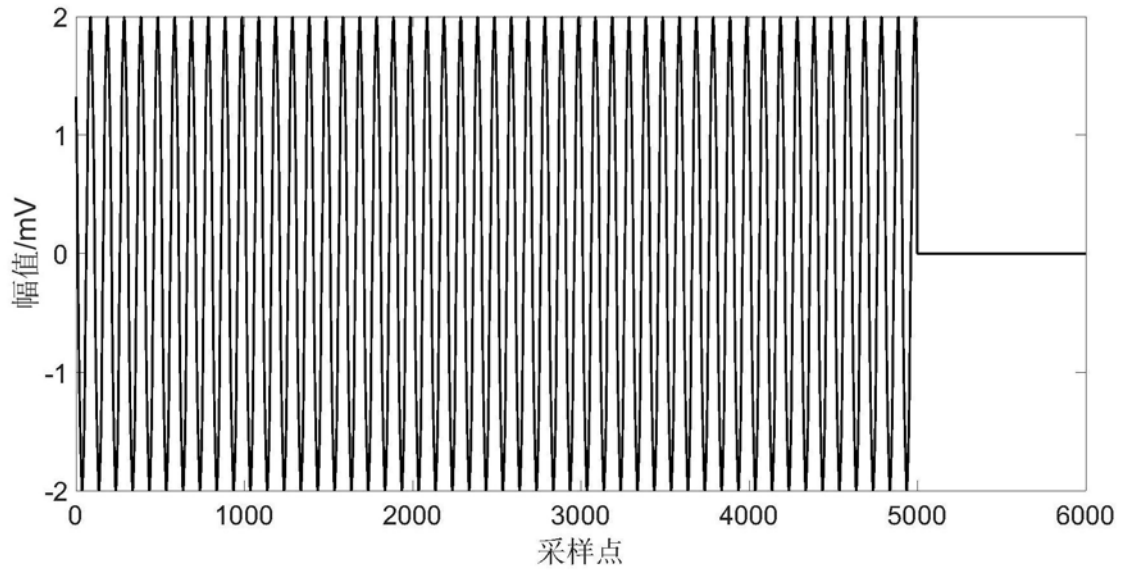


图6

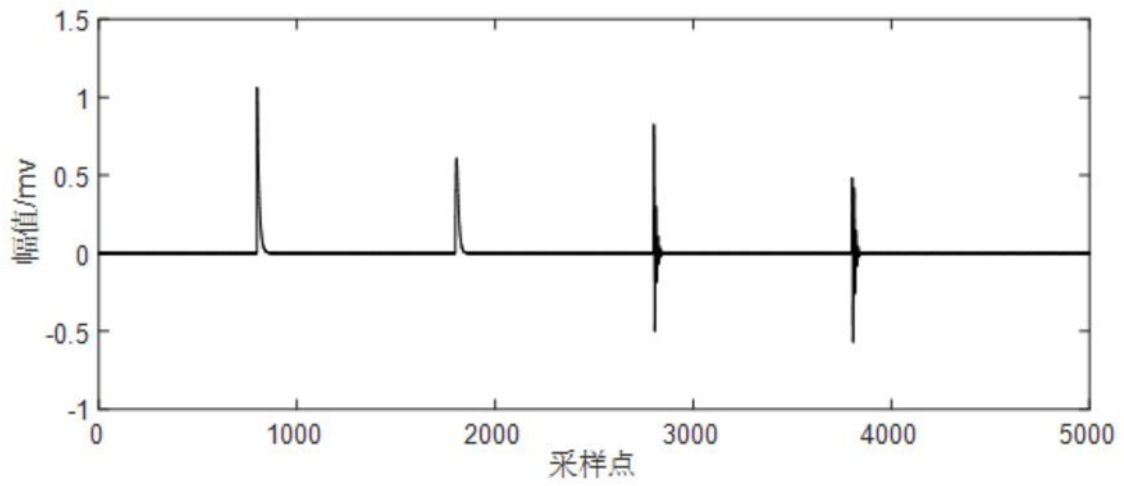


图7

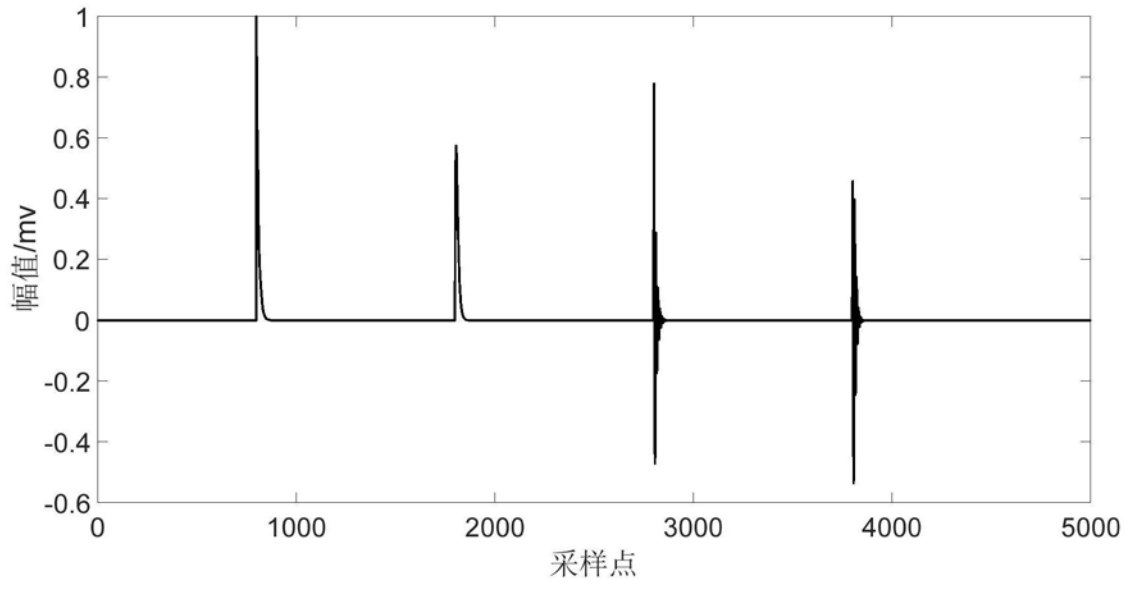


图8