



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103592554 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 27

(21) 申请号 201310645512. 9

CN 201965191 U, 2011. 09. 07,

(22) 申请日 2013. 12. 03

CN 102628905 A, 2012. 08. 08,

(73) 专利权人 武汉大学

US 2009/0112493 A1, 2009. 04. 20,

地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山武汉大学

CN 202189108 U, 2012. 04. 11,

审查员 孙玲玲

(72) 发明人 王先培 龙嘉川 严裕程 朱国威  
田猛 代荡荡 刘振东 叶波

(74) 专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务  
所(特殊普通合伙) 42222

代理人 张火春

(51) Int. Cl.

G01R 31/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 201859196 U, 2011. 06. 08,

CN 101629981 A, 2010. 01. 20,

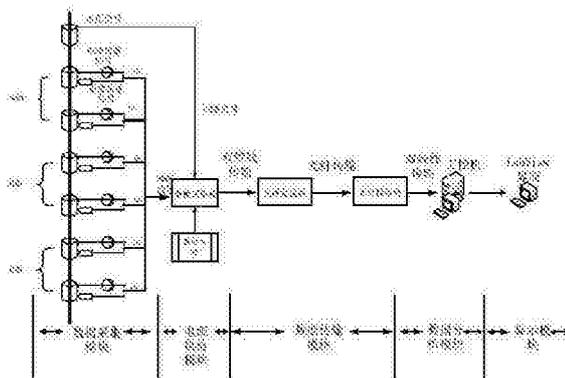
权利要求书3页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

一种 35kV 高压并联电容器在线监测系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种 35kV 高压并联电容器在线监测系统及方法,主要由数据采集模块、数据传输模块、数据分析模块、显示模块和电源供给模块组成。数据采集模块和电源供给模块位于变电站高压侧,分别负责收集电容器的运行参数和为数据采集模块供能。数据传输模块实现高、低压侧之间数据的光纤传输。数据分析模块和显示模块位于低压侧的工控机中,用于对所获数据做进一步分析处理,并将分析结果保存和输出显示。本发明实现了对电流、温度有效值的横向比较,对电容值的纵向比较,使系统有效避免已有单参量监测系统漏判率和误判率高的缺陷。同时,采用自适应加窗插值的 FFT 变换提高了谐波分析精度,有助于高压并联电容器的在线状态监测和故障诊断。



1. 一种利用 35kV 高压并联电容器在线监测系统对 35kV 高压并联电容器在线监测方法,所述的 35kV 高压并联电容器中由 6 个单相高压电容器组成;包括数据采集模块、数据传输模块、数据分析模块、数据显示模块和电源供给模块;所述的电源供给模块包含高压电气隔离 PT、开关电源和电源调理电路,所述的高压电气隔离 PT 为工业级的变电站用 PT,输出端接所述的开关电源输入接口;所述的开关电源输出端直接与所述的电源调理电路的输入相连,电源调理电路的输出端与所述的数据采集模块相连,为所述的数据采集模块供电;所述的数据采集模块由 48 个电流互感器 (1)、12 个电压互感器 (2)、48 个温度传感器 (3) 和 6 块数据采集板 (4) 组成,所述的 48 个电流互感器 (1) 分别一一套接于所述的 35kV 高压并联电容器的内部电容根部,所述的 12 个电压互感器 (2) 分别一一安装在所述的 35kV 高压并联电容器的内部放电线圈的二次侧,所述的 48 个温度传感器 (3) 分别一一贴合在所述的 35kV 高压并联电容器的外壳上,所述的数据采集板 (4) 包括主控单元 CPU 和 A/D 转换电路,8 个电流互感器 (1)、2 个电压互感器 (2)、8 个温度传感器 (3) 和 1 块数据采集板 (4) 组成一组,分别用于所述的 35kV 高压并联电容器中的单相高压电容器的电流、电压和温度的数据采集;所述的电流互感器 (1) 及电压互感器 (2) 的输出信号通过电源调理电路后直接送入所述的数据采集板 (4) 的 A/D 转换电路后送入所述的数据采集板 (4) 的主控单元 CPU,所述温度传感器 (3) 输出信号为数字信号,直接送入所述的数据采集板 (4) 的主控单元 CPU;所述的数据传输模块包括不止一个光纤收发器 (5) 和一个以太网交换机 (6),所述的数据采集板 (4) 的电流、温度和电压数据经双绞线传输给其一光纤收发器 (5) 后,经光纤传输给另一光纤收发器 (5),然后经双绞线传输给所述的以太网交换机 (6) 后再传输给另二光纤收发器 (5),接着经光纤传输给另三光纤收发器 (5) 后,经双绞线传输给所述的数据分析模块;所述的数据采集模块采集的电流、温度和电压数据经所述的数据分析模块分析后,得到的分析数据经所述的数据显示模块显示;

其特征在于,包括以下步骤:

步骤 1:通过所述的数据采集模块采集所述的 35kV 高压并联电容器的电流、电压、温度数据,并通过所述的数据传输模块将所述的电流、电压、温度数据传输至所述的数据分析模块;

步骤 2:利用所述的数据分析模块对所述的电流、电压、温度数据进行分析,其具体分析过程包括以下子步骤:

步骤 2.1:判断电容器是否有分合闸动作,

若有:则不进行故障判断,将分合闸动作前后 50 个周期的波形和数据存储到文件中,然后启动分合闸计时器,并进行谐波分析、定时存储和下一轮的电流、电压、温度数据读取操作;

若无:则执行下述操作,进行第二次判断;

步骤 2.2:判断分合闸计时器是否超时,

若否,则仍不进行故障判断,定时记录当前谐波失真度和各次谐波分量并继续等待,直到分合闸计时器超时;

若是,则执行下述操作,对所述的电流、电压、温度数据进行分析;

步骤 2.3:时域分析,其具体包括电流、电压有效值和电容量的计算;

步骤 2.4:频域分析,其具体是进行谐波失真度和各次谐波分量的计算;

步骤 2.5:依据电流、温度横向比较和电容计算值纵向比较进行故障判断和防范;

步骤 3:将各种情况的数据存储完毕后,根据用户选择来执行继续电流、电压、温度数据采集或退出操作;

若执行继续电流、电压、温度数据采集操作,则等待用户重新设置采集参数,再次开始采集;若执行退出操作,则跳出循环,结束电流、电压、温度数据分析;

步骤 4:通过所述的数据显示模块将所述的电流、电压、温度数据分析结果显示出来。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于:所述的高压电气隔离 PT 为工业级的变电站用 PT,其隔离等级是 10kV,输入端接市电 220V。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于:所述的开关电源输出端输出 12V 电压后直接与所述的电源调理电路的输入相连。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于:所述的电源调理电路的输出电压为 3.3V 和  $\pm 5V$ 。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于:所述的 48 个温度传感器 (3) 分别一一贴合在所述的 35kV 高压并联电容器的外壳离地面 2/3 处的位置处。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于:所述的 A/D 转换电路通过 IO 口直接与所述的主控单元 CPU 相连接。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于:所述的温度传感器 (3) 采用型号为 DS18B20 的温度传感器。

8. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于:所述的主控单元 CPU 采用 LM3S9B90 芯片,所述 A/D 转换电路芯片采用 AD7656 芯片。

9. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于:所述的电流、电压有效值和电容量的计算,其具体实现过程是利用过零比较法确定每个周期内的采样点数,计算得到电流 I、电压 U 的有效值及电容量 C:

$$I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N I_n^2}$$

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N U_n^2}$$

$$C = \frac{I_m \sin(\omega t + \theta_0)}{U_m \omega \sin(\omega t + \theta_0 + \delta)} \approx \frac{I}{U \omega}$$

其中, N 为一个周期内的采样点数,  $I_n$ ,  $U_n$  分别为一个周期内电流和电压的瞬时值,  $\omega$  为电网频率, t 为时间,  $\theta_0$  为电流初相位,  $\delta$  为介质损耗角。

10. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于:所述的谐波失真度和各次谐波分量的计算,其具体实现过程是:在所述的数据分析模块的谐波分析模块中内置矩形窗、三角窗、Hanning 窗、Blackman 窗,实际运行时默认采用 Blackman 窗;如果出现电网频率异常波动,则选用主瓣宽度较窄且便于分辨的矩形窗;如果出现电流或电压有效值异常波动,则选用旁瓣幅度小的 Hanning 窗或三角窗,计算时,所述的各次谐波分量即为电流、电压做自适应加窗插值的 FFT 变换后在整数倍基波频率处的频谱幅值,分别用  $I_n$ ,  $U_n$  表示,计算电流谐波失真度 THD\_I、电压谐波失真度 THD\_U:

$$THD\_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\%, \quad THD\_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} U_h^2}}{U_1} \times 100\%$$

上式中,  $I_1, U_1$  分别为电流、电压的基波分量。

11. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于: 所述的依据电流、温度横向比较进行故障判断和防范, 其具体实现过程是将各正常电容通道电流信号的有效值进行比较, 若某通道偏差大于用户设定的阈值, 则认为该通道电容运行不正常, 如连续 4 次运行不正常, 则排除噪声干扰, 判定电容已经出现故障, 此时, 记录故障电容编号和当时的有效值、谐波失真度和各次谐波分量, 同时将故障前后总计 50 个周期的波形和数据存储到文件中, 给出故障报警指示, 同时, 为防止故障电容影响基准有效值, 即各通道电流信号有效值的平均, 将确定为故障的电容器从正常电容通道中排除, 加入到故障通道中。

12. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于: 所述的依据纵向比较进行故障判断和防范, 其具体实现过程是将发生故障的电容的前后两次电容计算值进行比较, 如果两者差距小于设定的阈值, 认为故障信号已经稳定, 故不再存储其数据, 如果两者差距连续 4 次大于阈值, 认为故障信号尚未稳定, 则存储前后总计 40 个周期的波形数据, 为分析故障信号特征和来源提供参考。

13. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于: 所述的数据显示模块包括展示于 LabVIEW 界面上的整体运行状态监测页面、时域频域监测页面、波形数据查询页面、分合闸记录页面和故障记录查询页面。

## 一种 35kV 高压并联电容器在线监测系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于高压电力无功补偿设备在线监测领域,尤其涉及一种多参量的 35kV 高压并联电容器在线监测系统及方法。

### 背景技术

[0002] 并联电容器是一种广泛应用于电力系统中的电气设备,主要用于补偿感性无功功率、改善功率因数、减少电能损耗、保障电压质量、增强系统稳定性和提高系统输送电能能力,其安全运行对整个电力系统至关重要。

[0003] 在实际生产中,由于电容器工作的高场强环境,其内部介质损耗在运行过程中存在累积效应,最终会导致电容器故障的发生,因此迫切需要研制一套电容器在线监测系统。

[0004] 现有高压并联电容器在线监测系统主要存在以下不足:

[0005] 1. 目前,高压电容器在线监测系统的研究绝大部分都集中在 10kV 的变电站,且往往都是以单参量作为故障诊断和预警的依据。由于不同参量可能对不同的干扰敏感,所以上述基于单参量的监测方法容易造成漏判或误判;

[0006] 2. 高压并联电容器所处变电站的电磁环境复杂,当前监测系统常用的电缆通信介质极易受到强电磁场干扰,不适合作为高压电容器在线监测装置的通信介质;

[0007] 3. 现有的谐波分析通常采用 FFT 对非正弦周期函数进行分解,但在实际检测中,由于对被测信号的截断以及电网频率的波动,容易造成频谱泄露效应,严重影响了谐波分析精度。

### 发明内容

[0008] 针对上述存在的问题,本发明的目的是提供一种多参量的 35kV 高压并联电容器在线监测系统及方法,能够通过对多种参数的收集达到全面监测的目的,并采用光纤通信实现信号的可靠传输,最终通过嵌入的 LabVIEW 分析模块和显示模块将监测和分析结果简洁明了地展现在客户端。

[0009] 为达到上述目的,本发明所采用的技术方案是:一种 35kV 高压并联电容器在线监测系统,所述的 35kV 高压并联电容器中由 6 个单相高压电容器组成;其特征在于,包括数据采集模块、数据传输模块、数据分析模块、数据显示模块和电源供给模块;

[0010] 所述的电源供给模块包含高压电气隔离 PT、开关电源和电源调理电路,所述的高压电气隔离 PT 为工业级的变电站用 PT,输出端接所述的开关电源输入接口;所述的开关电源输出端直接与所述的电源调理电路的输入相连,电源调理电路的输出端与所述的数据采集模块相连,为所述的数据采集模块供电;

[0011] 所述的数据采集模块由 48 个电流互感器、12 个电压互感器、48 个温度传感器和 6 块数据采集板组成,所述的 48 个电流互感器分别一一套接与所述的 35kV 高压并联电容器的内部电容根部,所述的 12 个电压互感器分别一一安装在所述的 35kV 高压并联电容器的内部放电线圈的二次侧,所述的 48 个温度传感器分别一一贴合在所述的 35kV 高压并联电

容器的外壳上,所述的数据采集板包括主控单元 CPU 和 A/D 转换电路,所述的 8 个电流互感器、2 个电压互感器、8 个温度传感器和 1 块数据采集板组成一组,分别用于所述的 35kV 高压并联电容器中的单相高压电容器的电流、电压和温度的数据采集;所述的电流互感器及电压互感器的输出信号通过电源调理电路后直接送入所述的数据采集板的 A/D 转换电路后送入所述的数据采集板的主控单元 CPU,所述温度传感器输出信号为数字信号,直接送入所述的数据采集板的主控单元 CPU;

[0012] 所述的数据传输模块包括不止一个光纤收发器和一个以太网交换机,所述的数据采集板的电流、温度数据经双绞线传输给其一光纤收发器后,经光纤传输给另一光纤收发器,然后经双绞线传输给所述的以太网交换机后再传输给另二光纤收发器,接着经光纤传输给另三光纤收发器后,经双绞线传输给所述的数据分析模块;

[0013] 所述的数据采集模块采集的电流、电压、温度数据经所述的数据分析模块分析后,得到的分析数据经所述的数据显示模块显示。

[0014] 作为优选,所述的高压电气隔离 PT 为工业级的变电站用 PT,其隔离等级是 10kV,输入端接市电 220V。

[0015] 作为优选,所述的开关电源输出端输出 12V 电压后直接与所述的电源调理电路的输入相连。

[0016] 作为优选,所述的电源调理电路的输出电压为 3.3V 和  $\pm 5V$ 。

[0017] 作为优选,所述的 48 个温度传感器分别一一贴合在所述的 35kV 高压并联电容器的外壳离地面 2/3 处的位置处。

[0018] 作为优选,所述的 A/D 转换电路通过 IO 口直接与所述的主控单元 CPU 相连接。

[0019] 作为优选,所述的温度传感器采用型号为 DS18B20 的温度传感器,它是特制的具有磁性的贴片式数字温度传感器,具有体积小、接线方便、精确度高、测温方便等优点。

[0020] 作为优选,所述的主控单元 CPU 采用 LM3S9B90 芯片,所述 A/D 转换电路芯片采用 AD7656 芯片。

[0021] 利用所述的 35kV 高压并联电容器在线监测系统对所述的 35kV 高压并联电容器在线监测方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0022] 步骤 1:通过所述的数据采集模块采集所述的 35kV 高压并联电容器的电流、电压、温度数据,并通过所述的数据传输模块将所述的电流、电压、温度数据传输至所述的数据分析模块;

[0023] 步骤 2:利用所述的数据分析模块对所述的电流、电压、温度数据进行分析,其具体分析过程包括以下子步骤:

[0024] 步骤 2.1:判断电容器是否有分合闸动作,

[0025] 若有:则不进行故障判断,将分合闸动作前后 50 个周期的波形和数据存储到文件中,然后启动分合闸计时器,并进行谐波分析、定时存储和下一轮的电流、电压、温度数据读取操作;

[0026] 若无:则执行下述操作,进行第二次判断;

[0027] 步骤 2.2:判断分合闸计时器是否超时,

[0028] 若否,则仍不进行故障判断,定时记录当前谐波失真度和各次谐波分量并继续等待,直到分合闸计时器超时;

- [0029] 若是,则执行下述操作,对所述的电流、电压、温度数据进行分析;
- [0030] 步骤 2.3:时域分析,其具体包括电流、电压有效值和电容量的计算;
- [0031] 步骤 2.4:频域分析,其具体是进行谐波失真度和各次谐波分量的计算;
- [0032] 步骤 2.5:依据电流、温度横向比较和电容计算值纵向比较进行故障判断和防范;
- [0033] 步骤 3:将各种情况的数据存储完毕后,根据用户选择来执行继续电流、电压、温度数据采集或退出操作;
- [0034] 若执行继续电流、电压、温度数据采集操作,则等待用户重新设置采集参数,再次开始采集;
- [0035] 若执行退出操作,则跳出循环,结束电流、电压、温度数据分析;
- [0036] 步骤 4:通过所述的显示模块将所述的电流、电压、温度数据分析结果显示出来。
- [0037] 作为优选,所述的电流、电压有效值和电容量的计算,其具体实现过程是利用过零比较法确定每个周期内的采样点数,计算得到电流 I、电压 U 的有效值及电容量 C:

$$[0038] \quad I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N I_n^2}$$

$$[0039] \quad U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N U_n^2}$$

$$[0040] \quad C = \frac{I_m \sin(\omega t + \theta_0)}{U_m \omega \sin(\omega t + \theta_0 + \delta)} \approx \frac{I}{U \omega}$$

[0041] 其中,N 为一个周期内的采样点数,  $I_n$ ,  $U_n$  分别为一个周期内电流和电压的瞬时值,  $\omega$  为电网频率,  $t$  为时间,  $\theta_0$  为电流初相位,  $\delta$  为介质损耗角。

[0042] 作为优选,所述的谐波失真度和各次谐波分量的计算,其具体实现过程是:在所述的数据分析模块的谐波分析模块中内置矩形窗、三角窗、Hanning 窗、Blackman 窗,实际运行时默认采用 Blackman 窗;如果出现电网频率异常波动,则选用主瓣宽度较窄且便于分辨的矩形窗;如果出现电流或电压有效值异常波动,则选用旁瓣幅度小的 Hanning 窗或三角窗,计算时,所述的各次谐波分量即为电流、电压做自适应加窗插值的 FFT 变换后在整数倍基波频率处的频谱幅值,分别用  $I_h$ ,  $U_h$  表示,计算所述的电流谐波失真度 THD\_I、电压谐波失真度 THD\_U:

$$[0043] \quad THD\_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\%, \quad THD\_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} U_h^2}}{U_1} \times 100\%$$

[0044] 上式中,  $I_1$ ,  $U_1$  分别为电流、电压的基波分量。

[0045] 作为优选,所述的依据电流、温度横向比较进行故障判断和防范,其具体实现过程是将各正常电容通道电流信号的有效值进行比较,若某通道偏差大于用户设定的阈值,则认为该通道电容运行不正常,如连续 4 次运行不正常,则排除噪声干扰,判定电容已经出现故障,此时,记录故障电容编号和当时的有效值、谐波失真度和各次谐波分量,同时将故障前后总计 50 个周期的波形和数据存储到文件中,给出故障报警指示,同时,为防止故障电容影响基准有效值,即各通道电流信号有效值的平均,将确定为故障的电容器从正常电容通道中排除,加入到故障通道中。

[0046] 作为优选,所述的依据纵向比较进行故障判断和防范,其具体实现过程是将发生故障的电容的前后两次电容计算值进行比较,如果两者差距小于设定的阈值,认为故障信号已经稳定,故不再存储其数据,如果两者差距连续 4 次大于阈值,认为故障信号尚未稳定,则存储前后总计 40 个周期的波形数据,为分析故障信号特征和来源提供参考。

[0047] 作为优选,所述的显示模块包括展示于 LabVIEW 界面上的整体运行状态监测页面、时域频域监测页面、波形数据查询页面、分合闸记录页面和故障记录查询页面。

[0048] 本发明的有益效果是:

[0049] 1. 采用多参量检测,将能够反映并联电容器运行状况的电流、电压、温度全部纳入监测范围,能够为实时状态监测和故障预警提供更加详实、可靠的信息,有效避免了已有单参量在线监测系统漏报率和误报率高的缺点;

[0050] 2. 数据采用光纤传输,这样一方面避免了变电站内部的强电磁场干扰,另一方面彻底实现了高压并联电容器侧跟低压主控室之间的电气隔离,杜绝了安全隐患;

[0051] 3. 通过对电流、电压、温度数据的处理,提出综合电流温度横向差分比较、单台电容计算值纵向比较和谐波分析结果的故障诊断判据,大大提高了诊断的准确性和及时性;

[0052] 4. 谐波分析采用自适应加窗插值的 FFT 变换,降低了在实际检测中因信号截断和电网频率波动造成的频谱泄露效应影响,提高了谐波分析精度;

[0053] 5. 显示模块采用 LabVIEW 编程语言,利用 NI 公司提供的强大的编程平台,对采集的数据进行了相应处理,提供给用户现场运行状态实时监测、故障预警和历史数据查询等功能,设计了友好的交互式人机界面,方便操作;

[0054] 6. 利用高压电气隔离 PT 将市电送上高压平台,为高压在线监测设备供能,实现了一次侧与二次侧的完全电气隔离,保证了供电的持续性和安全性。

## 附图说明

[0055] 图 1:是本发明的系统结构示意图。

[0056] 图 2:是本发明实施例的数据采集传感器安装示意图。

[0057] 图 3:是本发明实施例的数据传输原理示意图。

[0058] 图 4:是本发明实施例的电源供给模块结构示意图。

[0059] 图 5:是本发明实施例的数据分析流程图。

[0060] 图 6-1:是本发明实施例的谐波分析所用矩形窗函数的频谱图。

[0061] 图 6-2:是本发明实施例的谐波分析所用三角窗函数的频谱图。

[0062] 图 6-3:是本发明实施例的谐波分析所用 Hanning 窗函数的频谱图。

[0063] 图 6-4:是本发明实施例的谐波分析所用 Blackman 窗函数的频谱图。

## 具体实施方式

[0064] 以下将结合具体实施例和附图对本发明做进一步的说明。

[0065] 请见图 1、图 2、图 3 和图 4,本发明的 35kV 高压并联电容器在线监测系统所采用的技术方案是:一种 35kV 高压并联电容器在线监测系统,35kV 高压并联电容器中由 6 个单相高压电容器组成;包括数据采集模块、数据传输模块、数据分析模块、数据显示模块和电源供给模块;

[0066] 电源供给模块包含高压电气隔离 PT、开关电源和电源调理电路,高压电气隔离 PT 为工业级的变电站用 PT,能以 1:1 的变比将市电送往高压平台上的监测设备,其隔离等级是 10kV,输入端接市电 220V,输出端接开关电源输入接口;开关电源输出端输出 12V 电压后直接与电源调理电路的输入相连,电源调理电路的输出电压为 3.3V 和  $\pm 5V$ ,其输出端与数据采集模块相连,为数据采集模块供电;

[0067] 单相电容器组内部传感器采用四并两串的接线方式,此属于公知连接方式,本发明不做赘述。数据采集模块由 48 个电流互感器 1、12 个电压互感器 2、48 个温度传感器 3 和 6 块数据采集板 4 组成,48 个电流互感器 1 分别一一套接与 35kV 高压并联电容器的内部电容根部,利用电磁感应原理将一次侧大电流转化为二次侧小电流来实现电流采集,因此,通过将 8 个电流互感器 1 套接于 8 台电容的根部就可获得单相中所有电容的电流数据;12 个电压互感器 2 分别一一安装在 35kV 高压并联电容器的内部放电线圈的二次侧,即可获得单相中上下两组电容的电压数据;48 个温度传感器 3 分别一一贴合在 35kV 高压并联电容器的外壳离地面 2/3 处的位置处;数据采集板 4 包括采用 LM3S9B90 芯片的主控单元 CPU 和采用 AD7656 芯片的 A/D 转换电路,A/D 转换电路通过 IO 口直接与主控单元 CPU 相连接;8 个电流互感器 1、2 个电压互感器 2、8 个温度传感器 3 和 1 块数据采集板 4 组成一组,分别用于 35kV 高压并联电容器中的单相高压电容器的电流、电压和温度的数据采集;电流互感器 1 及电压互感器 2 的输出信号通过电源调理电路后直接送入数据采集板 4 的 A/D 转换电路后送入数据采集板 4 的主控单元 CPU,所述温度传感器 3 输出信号为数字信号,直接送入数据采集板 4 的主控单元 CPU;

[0068] 数据传输模块包括不止一个光纤收发器 5 和一个以太网交换机 6,数据采集板 4 的电流、温度数据经双绞线传输给其一光纤收发器 5 后,经光纤传输给另一光纤收发器 5,然后经双绞线传输给以太网交换机 6 后再传输给另二光纤收发器 5,接着经光纤传输给另三光纤收发器 5 后,经双绞线传输给所述的数据分析模块;

[0069] 数据采集模块采集的电流、电压、温度数据经数据分析模块分析后,得到的分析数据经数据显示模块显示。

[0070] 请见图 5,本实施例的利用 35kV 高压并联电容器在线监测系统对 35kV 高压并联电容器在线监测方法,包括以下步骤:

[0071] 步骤 1:通过数据采集模块采集 35kV 高压并联电容器的电流、电压、温度数据,并通过数据传输模块将电流、电压、温度数据传输至数据分析模块;

[0072] 用户通过设置界面启动程序,控制数据采集模块开始采集数据,经数据采集板 4 转换后的数字信号再通过数据传输模块传送至数据分析模块的上位机。然后,上位机设置指定大小的缓冲区存储数据。存储方式是最近读取的数据放在缓冲区的最后,读取一批数据,则缓冲区中最前面的一批数据(最早数据)将丢失,如此循环,不断读取采集的实时数据。待分析数据取自缓冲区的中部,一旦分析判断有故障发生,则将整个缓冲区的数据全部存到文件中。这样即可将故障发生前后的数据存储下来,供用户提取显示,分析故障原因;

[0073] 步骤 2:利用数据分析模块对电流、电压、温度数据进行分析,其具体分析过程包括以下子步骤:

[0074] 步骤 2.1:判断电容器是否有分合闸动作,

[0075] 若有:则不进行故障判断,将分合闸动作前后 50 个周期的波形和数据存储到文件

中,然后启动分合闸计时器,并进行谐波分析、定时存储和下一轮的电流、电压、温度数据读取操作;

[0076] 若无:则执行下述操作,进行第二次判断;

[0077] 步骤 2.2:判断分合闸计时器是否超时,

[0078] 若否,则仍不进行故障判断(因为分合闸后一段时间内,各通道信号都不稳定,无法进行正常的故障判断),定时记录当前谐波失真度和各次谐波分量,直到分合闸计时器超时;

[0079] 若是,则执行下述操作,对电流、电压、温度数据进行分析;

[0080] 步骤 2.3:时域分析,其具体包括电流、电压有效值和电容量的计算;其具体实现过程是利用过零比较法确定每个周期内的采样点数,计算得到电流 I、电压 U 的有效值及电容量 C:

$$[0081] \quad I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N I_n^2}$$

$$[0082] \quad U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N U_n^2}$$

$$[0083] \quad C = \frac{I_m \sin(\omega t + \theta_0)}{U_m \omega \sin(\omega t + \theta_0 + \delta)} \approx \frac{I}{U \omega}$$

[0084] 其中,N 为一个周期内的采样点数,  $I_n$ ,  $U_n$  分别为一个周期内电流和电压的瞬时值,  $\omega$  为电网频率,  $t$  为时间,  $\theta_0$  为电流初相位,  $\delta$  为介质损耗角(通常很小)。

[0085] 步骤 2.4:频域分析,频域分析主要是进行谐波失真度和各次谐波分量的计算。现有的谐波分析方法通常采用 FFT 对非正弦周期函数进行分解,但在实际检测中,由于对被测信号的截断以及电网频率的波动,容易造成频谱泄露效应,严重影响谐波分析精度。理论和实践显示对时域信号加窗能够有效降低频谱泄露中的长范围泄露,对频域信号插值则可降低频谱泄露中的短范围泄露。在在加窗函数的选择上,主瓣窄的能够获得较高的频率分辨率,而旁瓣衰减快的在减少泄露时有优势,且上述两者往往不能兼得。因此,本发明采用自适应加窗插值的 FFT 变换实现谱分析,具体方法为:在所述谐波分析模块中内置矩形窗、三角窗、Hanning 窗、Blackman 窗,实际运行时默认采用 Blackman 窗;如果出现电网频率异常波动,为排除干扰因素,认为此时要求精确计算频率,而不考虑幅值的准确度,则程序自动选用主瓣宽度较窄且便于分辨的矩形窗;如果出现电流或电压有效值异常波动,为排除干扰因素,认为此时要求精确计算频谱幅值,则程序自动选用旁瓣幅度小的 Hanning 窗或三角窗。通过自适应选择加窗函数,本发明中的谐波分析方法可以在电网不同类型的干扰下保持较高的分析精度。请见图 6-1、图 6-2、图 6-3 和图 6-4,为上述各窗函数的频谱图;

[0086] 这种根据高压并联电容器实际运行状况自适应选择窗函数的谐波检测方法为本发明首创。计算时,各次谐波分量即为电流、电压做自适应加窗插值的 FFT 变换后在整数倍基波频率处的频谱幅值,分别用  $I_h$ ,  $U_h$  表示,计算电流谐波失真度 THD\_I、电压谐波失真度 THD\_U:

$$[0087] \quad THD\_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\%, \quad THD\_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} U_h^2}}{U_1} \times 100\%$$

[0088] 上式中,  $I_1, U_1$  分别为电流、电压的基波分量;

[0089] 步骤 2.5: 依据电流、温度横向比较和电容计算值纵向比较进行故障判断和防范;

[0090] 依据电流、温度横向比较进行故障判断和防范, 其具体实现过程是将各正常电容通道电流信号的有效值进行比较, 若某通道偏差大于用户设定的阈值, 则认为该通道电容运行不正常, 如连续 4 次运行不正常, 则排除噪声干扰, 判定电容已经出现故障, 此时, 记录故障电容编号和当时的有效值、谐波失真度和各次谐波分量, 同时将故障前后总计 50 个周期的波形和数据存储到文件中, 给出故障报警指示, 同时, 为防止故障电容影响基准有效值, 即各通道电流信号有效值的平均, 将确定为故障的电容器从正常电容通道中排除, 加入到故障通道中;

[0091] 依据纵向比较进行故障判断和防范, 其具体实现过程是将发生故障的电容的前后两次电容计算值进行比较, 如果两者差距小于设定的阈值, 认为故障信号已经稳定, 故不再存储其数据, 如果两者差距连续 4 次大于阈值, 认为故障信号尚未稳定, 则存储前后总计 40 个周期的波形数据, 为分析故障信号特征和来源提供参考;

[0092] 故障的防范可根据谐波分析结果得出, 特别是当计算得到的谐波失真度达到一定阈值时, 即便电流、电压、温度值没有明显的变化, 也应该引起巡视人员足够重视, 并及时采取相应措施来避免潜在的由谐波造成的电容器事故;

[0093] 步骤 3: 将各种情况的数据存储完毕后, 根据用户选择来执行继续电流、电压、温度数据采集或退出操作;

[0094] 若执行继续电流、电压、温度数据采集操作, 则等待用户重新设置采集参数, 再次开始采集;

[0095] 若执行退出操作, 则跳出循环, 结束电流、电压、温度数据分析;

[0096] 步骤 4: 通过显示模块将电流、电压、温度数据分析结果显示出来;

[0097] 显示模块包括展示于 LabVIEW 界面上的整体运行状态监测页面、时域频域监测页面、波形数据查询页面、分合闸记录页面和故障记录查询页面。该模块能将并联电容器的实时运行状态真实、及时地反馈给变电站巡检人员, 并对可能的故障进行科学合理的预判和报警。同时, 该模块提供的历史数据查询功能极大地方便了工作人员根据既有数据做出快速和准确的故障判别, 并采取有针对性的解决措施, 对电容器组的安全、稳定运行意义重大。

[0098] 以上实施例仅供说明本发明之用, 而非对本发明的限制, 有关技术领域的技术人员, 在不脱离本发明的精神和范围的情况下, 还可以做出各种变换或变型, 因此所有等同的技术方案, 都将落入本发明的保护范围。

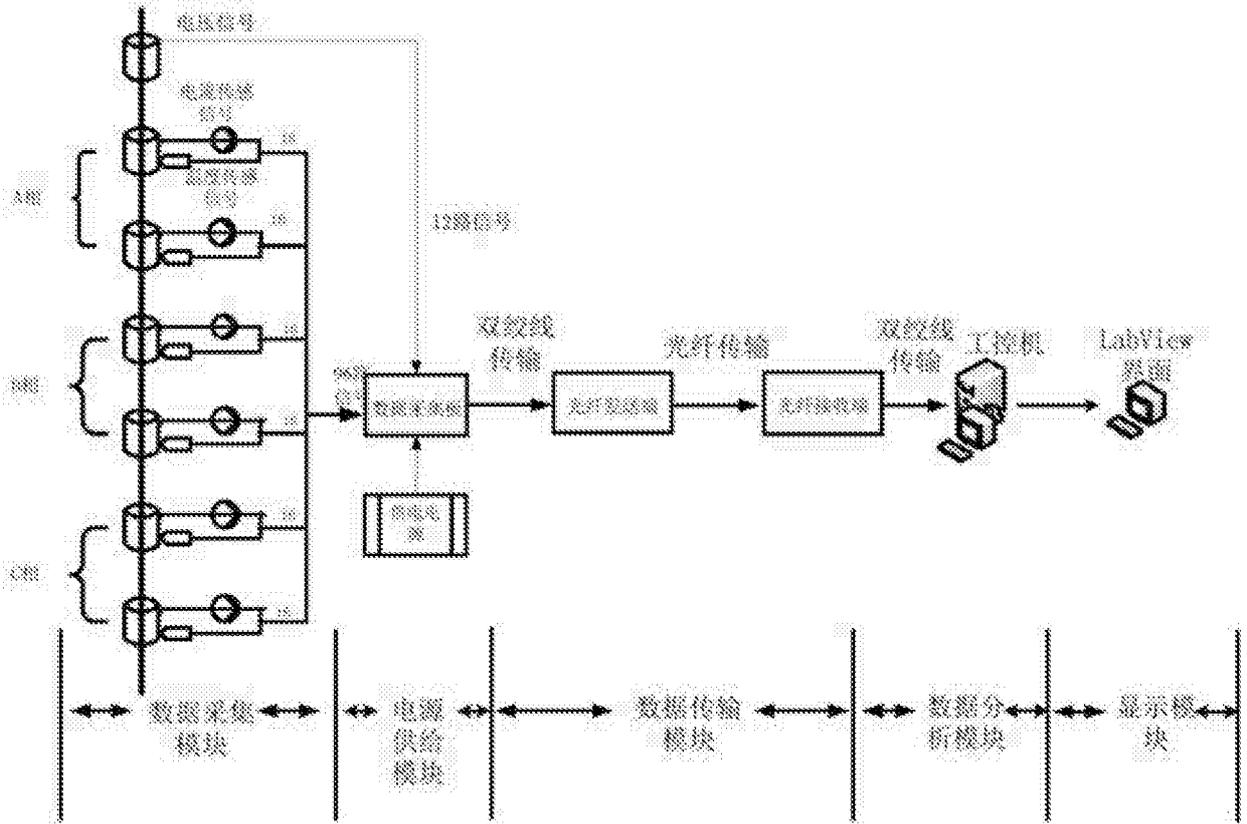


图 1

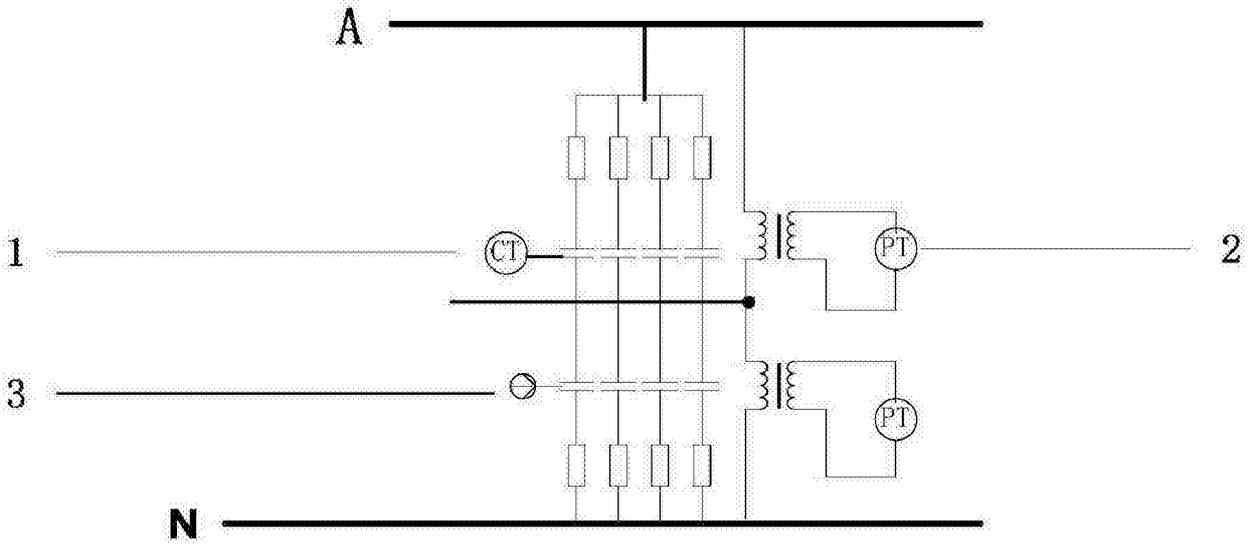


图 2

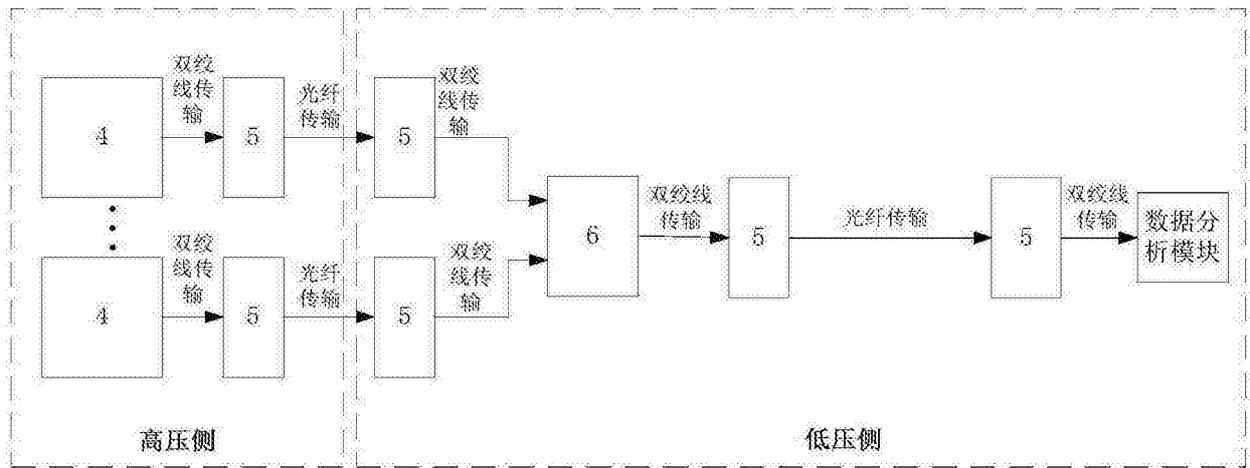


图 3

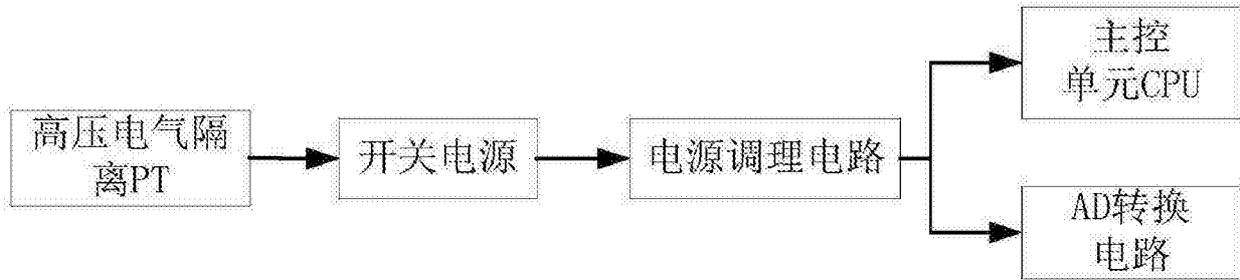


图 4

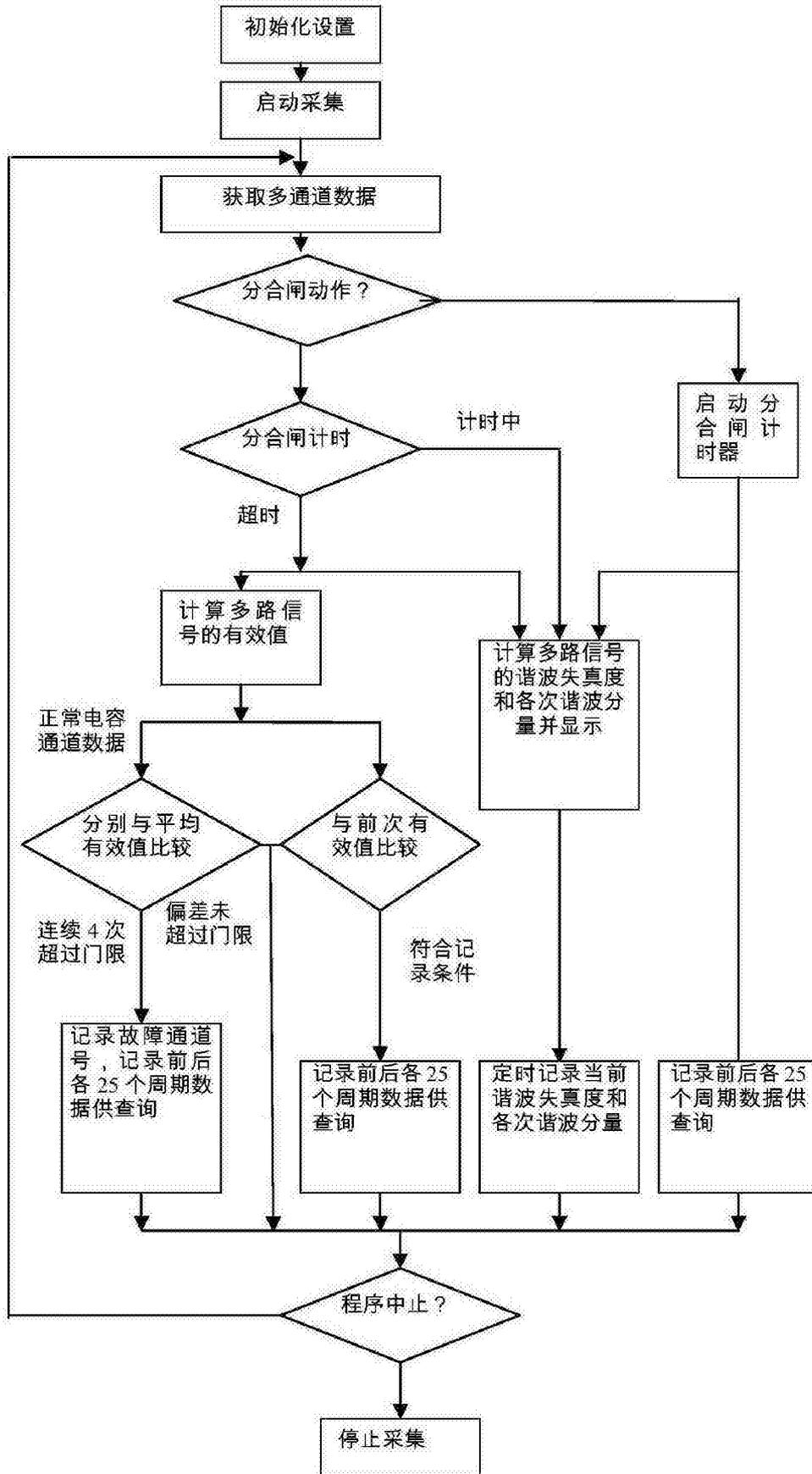


图 5

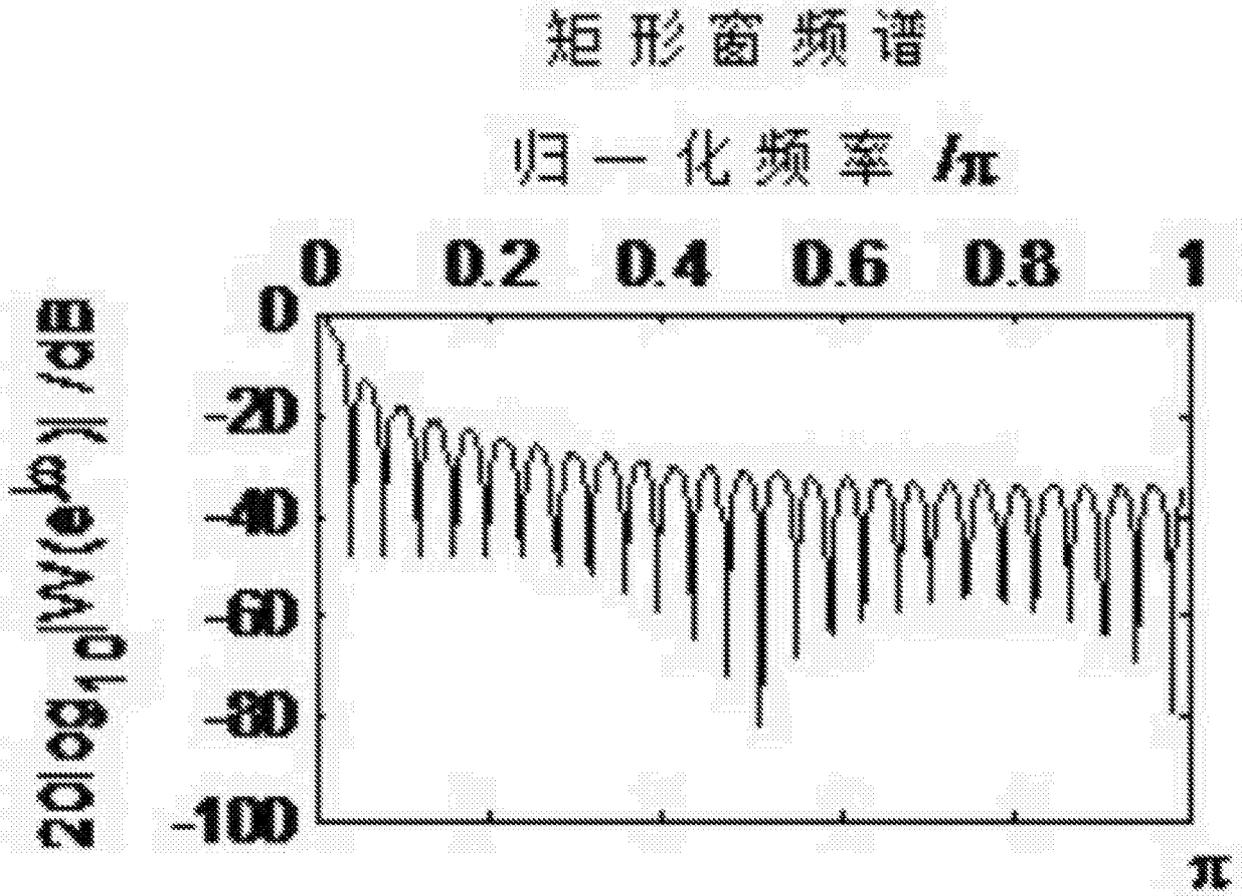


图 6-1

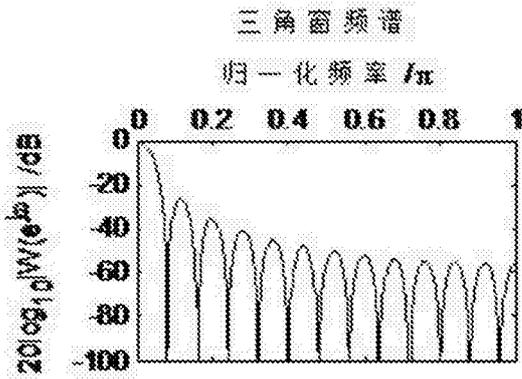


图 6-2

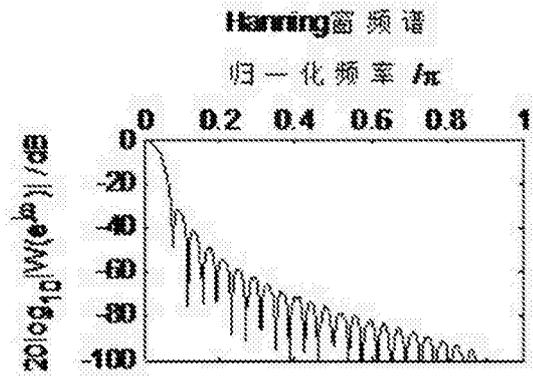


图 6-3

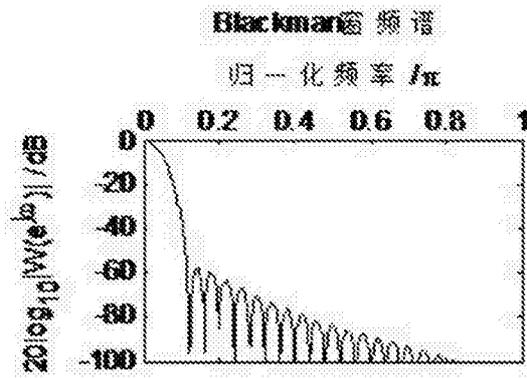


图 6-4