



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 106124823 B

(45) 授权公告日 2022. 11. 15

(21) 申请号 201610794840.9

(22) 申请日 2016.08.31

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106124823 A

(43) 申请公布日 2016.11.16

(73) 专利权人 哈尔滨理工大学
地址 150080 黑龙江省哈尔滨市南岗区学
府路52号

(72) 发明人 李忠华 董旭

(74) 专利代理机构 哈尔滨市伟晨专利代理事务
所(普通合伙) 23209

专利代理师 陈润明

(51) Int. Cl.

G01R 17/12 (2006.01)

G01R 27/26 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 102890226 A, 2013.01.23

GB 1542258 A, 1979.03.14

US 2014292324 A1, 2014.10.02

审查员 陈少敏

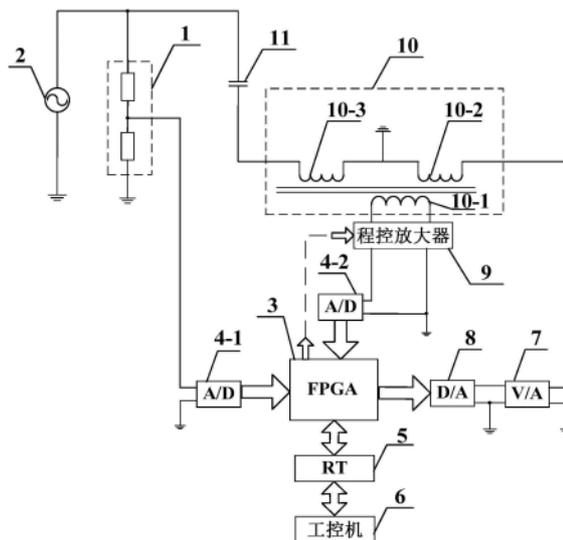
权利要求书1页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电桥

(57) 摘要

本发明提供了一种基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电桥,该全自动流比器高压电桥包括分压器、高压电源、FPGA、第一模拟输入模块、第二模拟输入模块、RT、工控机、电压控制电流源、模拟输出模块、程控放大器、流比器及测试试品,流比器包括检测线圈、第一比例线圈和第二比例线圈。检测线圈与程控放大器用来检测流比器平衡程度;两个固定匝数的比例线圈分别与测试试品和电压控制电流源相连接,通过安匝平衡原理实现试品电流的比较式测量。本发明的基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电桥可实现高压条件下容性试品电容及损耗因数的测量和感性试品电感与品质因数的测量。



1. 基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电桥,其特征在于,所述全自动流比器高压电桥包括分压器(1)、高压电源(2)、FPGA(3)、第一模拟输入模块(4-1)、第二模拟输入模块(4-2)、RT(5)、工控机(6)、电压控制电流源(7)、模拟输出模块(8)、程控放大器(9)、流比器(10)及测试试品(11),其中,所述流比器(10)包括检测线圈(10-1)、第一比例线圈(10-2)和第二比例线圈(10-3);

所述高压电源(2)的高压分别加到所述分压器(1)和所述测试试品(11)上,其中,所述测试试品(11)的电流进入所述第二比例线圈(10-3)中;所述分压器(1)得到的电压信号输入至所述第一模拟输入模块(4-1)中,所述第一模拟输入模块(4-1)将该电压信号从模拟信号转换为数字信号后传输至所述FPGA(3)的数据输入端口中;所述检测线圈(10-1)连接所述程控放大器(9),所述程控放大器(9)将所述检测线圈(10-1)采集到的不平衡信号放大,通过所述第二模拟输入模块(4-2)将检测线圈(10-1)得到的放大信号转换为数字信号并传输至FPGA(3);FPGA(3)的输出端连接所述模拟输出模块(8),所述电压控制电流源(7)采集所述模拟输出(8)的电压信号,并将该电压信号转换为电流信号而输出至所述第一比例线圈(10-2)中;所述FPGA(3)的数字I/O端口连接至所述程控放大器(9)的放大倍数接线端;所述FPGA(3)与所述RT(5)相连接,所述RT(5)与所述工控机(6)通过以太网相连接,将所述FPGA(3)、所述第一模拟输入单元(4-1)、所述第二模拟输入单元(4-2)和所述电压控制电流源(7)等效为虚拟基准,通过所述工控机(6)根据流比器(10)不平衡电流情况调整软件中电容或电感以及电阻的参数,实现与实物标准电容或标准电感以及标准电阻作用效果相同的补偿电流信号。

2. 根据权利要求1所述的全自动流比器高压电桥,其特征在于,所述FPGA(3)中包括预先构建好的标准电容与电阻并联模型。

3. 根据权利要求1或2所述的全自动流比器高压电桥,其特征在于,所述FPGA(3)中包括预先构建好的标准电感与电阻并联模型。

4. 根据权利要求1所述的全自动流比器高压电桥,其特征在于,所述检测线圈(10-1)与所述程控放大器(9)被配置用于检测所述流比器(10)的平衡程度,所述FPGA(3)被配置用于根据所述检测线圈(10-1)的输出电压大小使其数字I/O端口发出两路电平信号,并通过所述两路电平信号控制所述程控放大器(9)选择对应的放大倍数。

5. 根据权利要求4所述的全自动流比器高压电桥,其特征在于,所述FPGA(3)被配置用于通过以下方式来控制所述程控放大器(9)的放大倍率:

采集20000个所述检测线圈(10-1)的电压数据,通过冒泡法在该20000个电压数据中取绝对值最大的点,将该值分别先后与1、0.1、0.01比较:

若该值大于1,把00赋给所述程控放大器(9),使所述程控放大器(9)的放大倍率为1;

若该值大于0.1且小于等于1,把01赋值给所述程控放大器(9),使所述程控放大器(9)的放大倍率为10;

若该值大于0.01且小于等于0.1,把10赋值给所述程控放大器(9),使所述程控放大器(9)的放大倍率为100;

若该值小于等于0.01,把11赋值给所述程控放大器(9),使所述程控放大器(9)的放大倍率为1000。

基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电桥

技术领域

[0001] 本发明涉及电气测量技术,尤其涉及一种基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电桥。

背景技术

[0002] 在高电压条件下,容性试品电容值和损耗因数的测量大都采用电桥法测量,主要设备有高压西林电桥及高压流比器电桥。

[0003] 高压西林电桥是一种最传统容性试品电容值和损耗因数测量设备,其工作原理如图1A所示。具体地讲是把测试试品等效成复阻抗与标准电容器进行比较,调节低压侧比例臂的标准电阻R3和电容C4满足对边阻抗之积相等实现电桥平衡,而后根据电桥平衡条件计算待测参数电容值和损耗因数。低压臂电阻和电容的调节通过旋转式十进制开关实现,只能通过人工调节,无法实现自动化测量。同时由于西林电桥为阻容电桥,只能实现容性试品的测量,不能满足感性试品的测量。

[0004] 高压流比器电桥其平衡条件为安匝平衡,因为用匝数比来代替电阻比,平衡时没有磁滞损耗,其测量精度较其它电桥有显著的提高,工作原理如图1B所示。电桥的平衡条件为: $I_c N_x = I_0 N_0$, $I_g N_x = I_a N_a$ 。根据匝数比可求得测试试品电流,从而得到其电容值和损耗因数。改变线圈Nx中磁通的方向,使测试试品电流从线圈Nx同名端流入,可实现感性试品的测量。高压流比器电桥的平衡方法是将比例线圈按1、2、5系数抽头,手动调节比例线圈的匝数,实现安匝平衡。这种调节方式操作繁琐,对操作者的技能要求较高;且连线复杂,引线的屏蔽及可靠性问题不容忽视。

[0005] 为了克服电桥法人工操作及对操作人员技术要求的问题,人们提出了相位比较法。相位比较法是一种高压条件下全自动测量容性试品电容值和损耗因数的方法,其基本原理如图1C所示。电压和电流信号经过相同的两路信号预处理电路,然后进入过零比较器将交流信号过零整形为方波信号,通过比较这两个方波信号的上升沿或下降沿之间的时间差求出两个信号的相位差,进而计算出测试试品电容值和损耗因数。此方法实现了自动化测量,但是对于提取的电压信号和电流信号都属于直接测量,没有确定的基准,测量精度十分有限。

[0006] 综上,无论是现有的电桥法,还是相位比较法,其要么精度较低,要么需要人工操作且对操作人员技术要求较高,均不能同时实现高精度测量和自动化测量。

发明内容

[0007] 在下文中给出了关于本发明的简要概述,以便提供关于本发明的某些方面的基本理解。应当理解,这个概述并不是关于本发明的穷举性概述。它并不是意图确定本发明的关键或重要部分,也不是意图限定本发明的范围。其目的仅仅是以简化的形式给出某些概念,以此作为稍后论述的更详细描述的前序。

[0008] 鉴于此,本发明提供了一种基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电

桥,以至少解决现有的电桥法和相位比较法均不能同时实现高精度测量和自动化测量的问题。

[0009] 根据本发明的一个方面,提供了一种基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电桥,该全自动流比器高压电桥包括分压器、高压电源、现场可编程门阵列(FPGA)、第一模拟输入模块、第二模拟输入模块、实时控制器(RT)、工控机、电压控制电流源、模拟输出模块、程控放大器、检测线圈、流比器及测试试品,其中,流比器包括检测线圈、第一比例线圈和第二比例线圈;高压电源的高压分别加到分压器和测试试品上,其中,测试试品的电流进入第二比例线圈中;分压器得到的电压信号输入至第一模拟输入模块中,第一模拟输入模块将该电压信号从模拟信号转换为数字信号后传输至FPGA的数据输入端口中;检测线圈连接程控放大器,程控放大器将检测线圈采集到的不平衡信号放大,通过第二模拟输入模块将检测线圈得到的放大信号转换为数字信号并传输至FPGA;FPGA的输出端连接模拟输出模块,电压控制电流源采集模拟输出的电压信号,并将该电压信号转换为电流信号而输出至第一比例线圈中;FPGA的数字I/O端口连接至程控放大器的放大倍数接线端;FPGA与RT相连接,RT与工控机通过以太网相连接。

[0010] 进一步地,FPGA中可以包括预先构建好的标准电容与电阻并联模型。

[0011] 进一步地,FPGA中可以包括预先构建好的标准电感与电阻并联模型。

[0012] 进一步地,将FPGA、第一模拟输入单元、第二模拟输入单元和电压控制电流源等效为虚拟基准,通过工控机根据流比器不平衡电流情况调整软件中电容或电感以及电阻的参数,实现与实物标准电容或标准电感以及标准电阻作用效果相同的补偿电流信号。

[0013] 进一步地,检测线圈与程控放大器用于检测流比器平衡程度,而FPGA用于根据检测线圈的输出电压大小使其数字I/O端口发出两路电平信号,并通过两路电平信号控制程控放大器选择对应的放大倍数。

[0014] 进一步地,FPGA用于通过以下方式来控制选择程控放大器的放大倍率:通过采集检测线圈的20000个电压数据,利用冒泡法在该20000个电压数据中取绝对值最大的点,将该值分别先后与1、0.1、0.01比较:若该值大于1,把00赋给程控放大器,使程控放大器的放大倍率为1;若该值大于0.1且小于等于1,把01赋值给程控放大器,使程控放大器的放大倍率为10;若该值大于0.01且小于等于0.1,把10赋值给程控放大器,使程控放大器的放大倍率为100;若该值小于等于0.01,把11赋值给程控放大器,使程控放大器的放大倍率为1000。

[0015] 本发明的主要原理是:从分压器获取的实验电压模拟信号和从程控放大器获取的流比器不平衡电压信号通过第一和第二模拟输入模块转化数字信号传输到FPGA,对于容性试品,在FPGA中构建标准电容与电阻并联模型,对于感性试品,在FPGA中构建标准电感与电阻并联模型。数字电压信号通过构建的模型运算生成补偿数字电压信号,经数模转换后作为电压控制电流源的输入,电压控制电流源输出补偿电流。补偿电流流入第一比例线圈产生的磁通与测试试品电流在第二比例线圈中产生的磁通相抵消。FPGA、第一和第二模拟输入模块以及电压控制电流源等效为虚拟基准,通过工控机根据流比器不平衡电流情况调整软件中电容(或电感)、电阻的参数,实现与实物标准电容(或标准电感)和标准电阻作用效果相同的补偿电流信号。经过多次补偿,流比器不平衡信号越来越小,最终实现安匝平衡。通过平衡时FPGA中的电路参数可求得流经测试试品的电流,进而求出测试试品的电容值和损耗因数。

[0016] 与现有技术相比,本发明的一种基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电桥具有以下有益效果:

[0017] (1) 通过采用可控补偿电流的方式实现流比器高压电桥的安匝平衡,检测线圈与程控放大器用来检测流比器平衡程度,两个固定匝数的比例线圈分别与测试试品和电压控制电流源相连接,调节电压控制电流源的输出电流,通过安匝平衡原理实现试品电流的比较式测量,由此在高电压条件下既能够保证高精度测量,又能够实现测试过程的全自动化,操作简单,弥补了现有测试技术的不足。

[0018] (2) 本发明的流比器高压电桥通过采用FPGA代替传统windows操作系统,能够实时地并行处理以下几个过程:采集信号、计算补偿电流信号和发出信号;而这是传统的windows操作系统无法实现的。具体而言,本发明在采集电源电压信号和不平衡电流信号的同时发出补偿电流信号,且补偿电流信号的大小是由电源电压结合电路参数实时运算得来,这是真正并行运行的两个过程,要求控制系统有高实时性和确定性,而windows操作系统由于其单线程运行的特点并不能完全实时并行两个程序,无法满足测试要求。此外,可重新配置FPGA是有大量的逻辑门构成的数字芯片,可以通过软件对其进行定制,定制后逻辑门就被编译到了物理硬件上,除非重新编译否则不会更改,所以FPGA具有高可靠性、高确定性的优点。同时FPGA在硬件中以平行循环方式的执行并行代码,不会受到处理器核数的限制,能够实现真正的实时并行运行。

[0019] (3) 本发明的流比器高压电桥的基本原理依旧是安匝平衡,即流入流比器比例线圈的是可调控的电流信号,但由于采用FPGA代替传统windows操作系统,而FPGA发出的数字信号经过模拟输出模块变为电压信号,故这里采用电压控制电流源来实现电压/电流信号转化。在设计时保证电压控制电流源有确定的转换系数 k ,当FPGA发出数字电压一定时,补偿电流的幅值、相位也确定,通过观察补偿后检测线圈不平衡电流的变化,经过运算调整下一次FPGA输出电压。

[0020] (4) 本发明的流比器高压电桥,不仅能够实现高压条件下容性试品电容及损耗因数的全自动测量,还能实现感性试品电感及品质因数的全自动测量;与现有高压流比器电桥相比,本发明无需过多的连线,避免了多跟引线带来的可靠性和屏蔽的问题。

[0021] 通过以上结合附图对本发明的最佳实施例的详细说明,本发明的这些以及其他优点将更加明显。

附图说明

[0022] 本发明可以通过参考下文中结合附图所给出的描述而得到更好的理解,其中在所有附图中使用了相同或相似的附图标记来表示相同或者相似的部件。所述附图连同下面的详细说明一起包含在本说明书中并且形成本说明书的一部分,而且用来进一步举例说明本发明的优选实施例和解释本发明的原理和优点。在附图中:

[0023] 图1A为精密西林电桥的原理图;

[0024] 图1B为一般高压流比器电桥的原理图;

[0025] 图1C为相位比较法测量的线路框图;

[0026] 图2为本发明的基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电桥的一个示例的电路原理图,其中:

[0027] 1-分压器、2-高压电源、3-FPGA、4-1-第一模拟输入模块、4-2-第二模拟输入模块、5-实时控制器(RT)、6-工控机、7-电压控制电流源、8-模拟输出模块、9-程控放大器、10-流比器、10-1-检测线圈、10-2-第一比例线圈、10-3-第二比例线圈、11-测试试品；

[0028] 图3为本发明的基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电桥的程序逻辑流程图。

[0029] 本领域技术人员应当理解，附图中的元件仅仅是为了简单和清楚起见而示出的，而且不一定是按比例绘制的。例如，附图中某些元件的尺寸可能相对于其他元件放大了，以便有助于提高对本发明实施例的理解。

具体实施方式

[0030] 在下文中将结合附图对本发明的示范性实施例进行描述。为了清楚和简明起见，在说明书中并未描述实际实施方式的所有特征。然而，应该了解，在开发任何这种实际实施例的过程中必须做出很多特定于实施方式的决定，以便实现开发人员的具体目标，例如，符合与系统及业务相关的那些限制条件，并且这些限制条件可能会随着实施方式的不同而有所改变。此外，还应该了解，虽然开发工作有可能是非常复杂和费时的，但对得益于本公开内容的本领域技术人员来说，这种开发工作仅仅是例行的任务。

[0031] 在此，还需要说明的一点是，为了避免因不必要的细节而模糊了本发明，在附图中仅仅示出了与根据本发明的方案密切相关的装置结构和/或处理步骤，而省略了与本发明关系不大的其他细节。

[0032] 本发明的实施例提供了一种基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电桥，该全自动流比器高压电桥包括分压器、高压电源、FPGA、第一模拟输入模块、第二模拟输入模块、RT、工控机、电压控制电流源、模拟输出模块、程控放大器、流比器及测试试品，其中，流比器包括检测线圈、第一比例线圈和第二比例线圈；高压电源的高压分别加到分压器和测试试品上，其中，测试试品的电流进入第二比例线圈中；分压器得到的电压信号输入至第一模拟输入模块中，第一模拟输入模块将该电压信号从模拟信号转换为数字信号后传输至FPGA的数据输入端口中；检测线圈连接程控放大器，程控放大器将检测线圈采集到的不平衡信号放大，通过第二模拟输入模块将检测线圈得到的放大信号转换为数字信号并传输至FPGA；FPGA的输出端连接模拟输出模块，电压控制电流源采集模拟输出的电压信号，并将该电压信号转换为电流信号而输出至第一比例线圈中；FPGA的数字I/O端口连接至程控放大器的放大倍数接线端；FPGA与RT相连接，RT与工控机通过以太网相连接。

[0033] 下面结合图2来描述本发明的一种基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电桥的一个示例。如图2所示，本发明的全自动流比器高压电桥包括分压器1、高压电源2、FPGA 3、第一模拟输入模块4-1、第二模拟输入模块4-2、RT 5、工控机6(即图2中的上位机)、电压控制电流源7、模拟输出模块8、程控放大器9、流比器10及测试试品11。其中，流比器10由检测线圈10-1、第一比例线圈10-2、第二比例线圈10-3以及坡莫合金铁芯(图中未示出)构成，流比器为测试系统核心。

[0034] 高压电源2的高压分别加到分压器1和测试试品11上，其中，测试试品11的电流进入第二比例线圈10-3中。

[0035] 分压器1得到的电压信号输入至第一模拟输入模块4-1(例如A/D转换模块)中，由

第一模拟输入模块4-1将该电压信号从模拟信号转换为数字信号,此数字信号再传输至FPGA3的数据输入端口中,为后续计算做准备。

[0036] 检测线圈10-1连接程控放大器9,程控放大器9将检测线圈10-1采集到的不平衡信号放大,再通过第二模拟输入模块4-2转换为数字信号,传输至FPGA3。

[0037] 需要说明的是,在实际应用中,第一模拟输入模块4-1和第二模拟输入模块4-2在硬件上可以采用两个A/D转换模块来实现;或者,也可以采用在同一个A/D转换模块实现,分别采用该A/D转换模块的两路通道来实现。

[0038] FPGA3的输出端连接模拟输出模块8(例如D/A转换模块),电压控制电流源7采集模拟输出模块8的电压信号,并将该电压信号转换为电流信号输出至第一比例线圈10-2中。

[0039] FPGA3还有数字I/O端口,此数字I/O端口引出两根导线连接至程控放大器9的放大倍数接线端。同时,FPGA3与RT5连接,RT5与工控机6通过以太网连接,构建数据传出通道。

[0040] 根据一种实现方式,FPGA3中可以包括预先构建好的标准电容与电阻并联模型,用于容性试品的测试,也即,测试试品11为容性试品;此外,根据另一种实现方式,FPGA3中也可以包括预先构建好的标准电感与电阻并联模型,用于感性试品的测试,也即,测试试品11为感性试品。

[0041] 在其他实现方式中,FPGA3中可以根据实际需要来选择其中预先构建的模型,当需要测试的试品为容性试品时,则采用标准电容与电阻并联模型;而当需要测试的试品为感性试品时,则采用标准电感与电阻并联模型。由此,可以使得本发明的基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电桥不仅能够用于容性试品的测试,而且能够用于感性试品的测试。

[0042] 这样,将FPGA3、第一模拟输入模块4-1、第二模拟输入模块4-2和电压控制电流源7等效为虚拟基准,通过工控机6根据流比器不平衡电流情况调整软件中电容(或电感)、电阻的参数,实现与实物标准电容(或标准电感)和标准电阻作用效果相同的补偿电流信号,实现自动化测量和高精度测量。

[0043] 此外,根据一种实现方式,流比器两个固定匝数的比例线圈(即第一比例线圈10-2、第二比例线圈10-3)分别与测试试品、电压控制电流源7相连接,检测线圈10-1与程控放大器9相连接以检测流比器平衡程度。FPGA3根据检测线圈10-1的输出电压大小使其数字I/O端口发出两路电平信号,并通过两路电平信号控制程控放大器9选择对应的放大倍数,使得测量精度大大提高。

[0044] 在本发明的一个实现方式中,可以采用一块印刷电路板(PCB)集成RT5、FPGA3和数字I/O端口,例如采用NI sbRIO-9602XT型控制器来实现,该控制器主要参数如表一所示。

[0045] 表一

型号	处理器频率	FPGA 门数量	内置闪存	连接器	数字 I/O	工作温度
sbRIO-9602XT	400MHz	200 万	256M	3 个	110 个	-40°C-85°C

[0047] 第一模拟输入模块4-1和第二模拟输入模块4-2可以采用NI公司的C系列模块NI-

9215,其主要参数如表二所示。

[0048] 表二

型号	信号类型	信号	通道	采样率	是否同步	分辨率
NI-9215	模拟输入	$\pm 10V$	4	100kS/s	是	16位

[0050] 模拟输出模块8可以采用NI公司的C系列模块为NI-9263,其主要参数如表三所示。

[0051] 表三

型号	信号类型	信号	通道	采样率	是否同步	分辨率
NI-9263	模拟输出	$\pm 10V$	4	100kS/s	是	16位

[0053] 程控放大器9可以采用南京鸿宾微弱信号检测有限公司生产的HB-881 (V) 型低噪声程控放大器,主要参数如表四所示。

[0054] 表四

输入型号	工作频率	输入阻抗	输入信号	输出信号	输出电流
HB-881 (V)	1Hz-10kHz	$1M\Omega // 5pf$	$0-\pm 10V$	$\leq \pm 10V$	$\leq 15mA$

[0056] 图3为本发明的基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电桥的程序逻辑流程图。

[0057] 如图2所示,高压电源2施加在测试试品11上,测试试品11的电流流入第二比例线圈10-3产生磁通,检测线圈10-1可测得不平衡电压信号。根据不平衡电压信号的大小及第一模拟输入模块4-1和第二模拟输入模块4-2接收的电压范围,FPGA3发出数字电平控制程控放大器9选择合适的放大倍率,放大后的不平衡电压信号和从分压器1得到的电压信号一并被FPGA3采集。在FPGA3中分压器信号换算成电源的高压信号,不平衡电压信号换算成检测线圈10-1的不平衡电流信号。经过RT5将高压信号、不平衡电流信号、采样频率发送至工控机6。在工控机6中以正弦信号为基准判定数据的有效性,若数据无效则说明采样过程发生错误,立即停止测试并检查错误;当数据有效时,采用最小二乘拟合求取测试试品的电路参数,将此参数设为尝试模型参数数组发送至FPGA3,代入事先预设的标准电容(或标准电感)与标准电阻的虚拟模型中得到补偿的电压信号。该数字信号经过模拟输出模块8变为模拟电压信号,再经过电压控制电流源7转换为补偿电流信号,流入第一比例线圈10-2中。此时第一比例线圈10-2中会产生与第二比例线圈10-3中方向相反的磁通,两个磁通相互抵消将导致检测线圈10-1的不平衡电压基波幅值减小,持续采集补不平衡电压信号并换算、上传。若在工控机6中测得补偿后的不平衡电流基波分量减小,则判定补偿有效,将尝试模型参数确定为测试试品电路参数继续重复上述过程;反之则判定补偿无效,修正模型参数重新拟合。当连续3次补偿无效时,认为不平衡电流信号基波幅值已经达到了系统所能识别的极限,测试结束,计算电容值和损耗因数,生成报表文件。

[0058] 其中,可以通过在FPGA3中编写程序来实现采集信号、传输信号至工控机、控制放大器放大倍率、发出补偿信号、检测循环状态等功能,以及在RT中的编写程序实现FPGA3与工控机之间的实时数据通信、控制FPGA3开始采样时间、监测循环状态等功能。

[0059] 根据一种实现方式,以FPGA3控制程控放大器9放大倍率所采取的方案例如可以是:采集20000个检测线圈电压数据,通过冒泡法取绝对值最大的点,将该点的值记为 V_{max} ,然后将 V_{max} 分别先后与1、0.1、0.01比较。若 V_{max} 大于1,则把00赋给程控放大器9,使其放大倍

率为1;否则若 V_{\max} 大于0.1(即 V_{\max} 大于0.1,且 V_{\max} 小于或等于1),则把01赋值给程控放大器9,使其放大倍率为10;否则若大于0.01(即 V_{\max} 大于0.01,且 V_{\max} 小于或等于0.1),则把10赋值给程控放大器9,使其放大倍率为100;若 V_{\max} 小于或等于0.01,则把11赋值给程控放大器9,使其放大倍率为1000。由此,能够通过FPGA3自动选择程控放大器9合适的放大倍率。

[0060] 此外,可以将高压信号、不平衡电流信号及采样频率构成一维数组交替存入DMA FIF0中,选择target-to-host传递类型,数据将从FPGA3传输至RT5的数据缓冲区,然后将数据写入共享变量,在工控机6中通过读取共享变量即得到所需数组,通过索引数组方式分别提取电源高压信号、不平衡电流信号和采样频率。

[0061] 另外,电路参数可以通过数据流方式从工控机6传至RT5,因此在测试开始前先创建数据流确保工控机6已与RT5正确连接,在RT5中由FPGA写入控件将尝试模型参数数组发送至FPGA3。另外,如果FPGA在实时程序准备处理数据之前就向其发送数据,会增加DMA缓冲区溢出的风险;如果实时应用在FPGA发送数据之前就开始寻找数据,那么实时应用程序就有可能发生超时,本发明所采取的方法是在FPGA3中创建一个中断来同步FPGA的数据采集与实时应用程序。

[0062] 在本发明中,通过FPGA3采集电源电压信号和不平衡电流信号,同时根据采集到的信号及工控机输入的电路参数发出补偿信号,这是一个真正并行的、实时的系统,克服了windows操作系统实时性差的技术难题。

[0063] 此外,FPGA3输出信号是电压信号,而流入第一比例线圈10-2的信号应为电流信号方能实现安匝平衡,因此采用电压控制电流源7实现电压/电流信号转化。

[0064] 选择RT5配合FPGA3开发一套实时测试系统,以提高在程序运行中的实时性和准确性,在RT的控制下实现工控机与FPGA3间实时通信,并根据电桥平衡状态调整模型参数。

[0065] 工控机要判断采集到的信号的有效性,然后经过提取、拟合、计算等环节求得测试试品的电路参数,将电路参数赋值至FPGA3进行信号补偿,并判断补偿的有效性,最终平衡结束后,将测试结果以报表文件的形式展示出来,在工控机中编写程序实现以上所有功能。

[0066] 上述流比器电桥的控制系统硬件可采用美国NI公司生产的CompactRIO系列产品,具体包括RT、FPGA、模拟输入、模拟输出和数字I/O等,NI公司提供的LabVIEW-FPGA语言使得对FPGA的编译变得非常容易,不用学习其他底层复杂的计算机语言就可以实现对FPGA的个性化定制。选择RT配合FPGA开发一套实时测试系统能提高在程序运行中的实时性和准确性,确保在测试过程中不会出现较大的“抖动”,在RT的控制下实现工控机与FPGA间实时通信,并根据电桥平衡状态调整模型参数。

[0067] 在测试过程中,检测线圈的输出电压从最大值到零输出,检测线圈与程控放大器相连,FPGA根据检测线圈的输出电压大小发出两路电平信号控制程控放大器的放大倍数,确保第一模拟输入模块接收的电压有合适的放大倍数且不会超过量限。

[0068] 以上硬件设计完善了测试系统的“躯干”部分,为高精度测试提供了基础,接下来需要通过软件编程以实现测试过程的全自动化,这相当于构建本测试系统的“大脑”。工控机的特点是内存大,计算能力强,但实时性差。本发明在工控机中用LabVIEW编写程序实现创建消息队列、创建流、接收数据、判断信号有效性、拟合模型、赋值、判断补偿有效性、更改模型系数、构建人机交互界面、生成报表等功能。

[0069] 利用RT高实时性的特点,用LabVIEW编写UI命令循环、消息处理循环、watchdog循

环、系统状态与FPGA检测循环,实现FPGA与工控机之间的实时数据通信、创建消息队列、接受UI命令、约定采集时间、监控运行情况等功能。

[0070] 在FPGA中用LabVIEW-FPGA语言编写程序实现采集数据、上传数据、控制放大器放大倍率、发出补偿信号、检测循环状态等功能,整个测试过程无需人工干预完全自动化运行。

[0071] 通过以上描述可知,本发明的基于FPGA和电压控制电流源的全自动流比器高压电桥可实现高压条件下容性试品电容及损耗因数的测量和感性试品电感与品质因数的测量。检测线圈与程控放大器用来检测流比器平衡程度;而两个固定匝数的比例线圈分别与测试试品和电压控制电流源相连接,通过安匝平衡原理实现试品电流的比较式测量。FPGA内部构建电容(或电感)模型和电阻模型,从分压器获取实验电压模拟信号,通过模拟输入单元转化数字信号传输到FPGA,数字电压信号结合电容(或电感)模型和电阻模型通过运算产生实时数字电压信号,经数模转换后作为电压控制电流源的输入,电压控制电流源输出补偿电流。FPGA、模拟输入单元(包括第一模拟输入模块和第二模拟输入模块)和电压控制电流源等效为虚拟基准,通过工控机根据流比器不平衡电流情况调整软件中电容或电感、电阻的参数实现与实物标准电容(或标准电感)和标准电阻作用效果相同的补偿电流信号。软件系统的开发通过LabVIEW编程实现。该测试系统克服传统流比器电桥手工操作的弊端,大大减小了测量时间,提高了测试过程安全性和测试结果的准确性。

[0072] 本发明涉及一种测试系统,具体涉及一种尽管根据有限数量的实施例描述了本发明,但是受益于上面的描述,本技术领域内的技术人员明白,在由此描述的本发明的范围内,可以设想其它实施例。此外,应当注意,本说明书中使用的语言主要是为了可读性和教导的目的而选择的,而不是为了解释或者限定本发明的主题而选择的。因此,在不偏离所附权利要求书的范围和精神的情况下,对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。对于本发明的范围,对本发明所做的公开是说明性的,而非限制性的,本发明的范围由所附权利要求书限定。

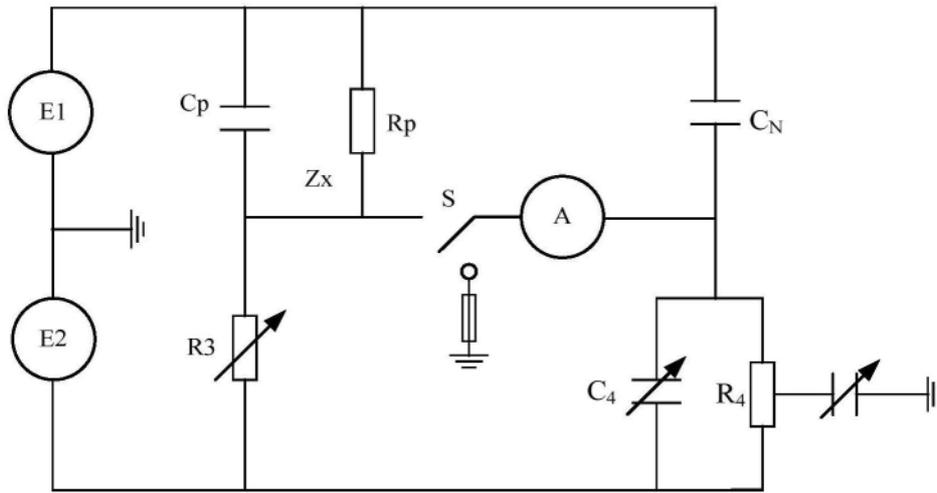


图1A

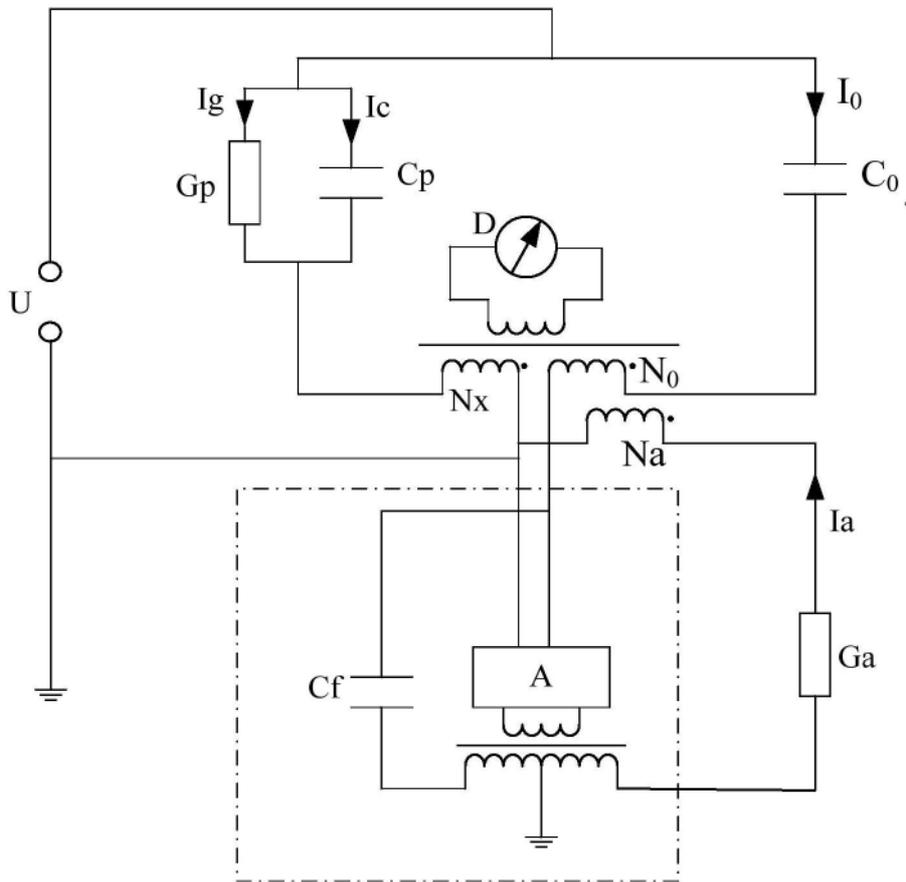


图1B

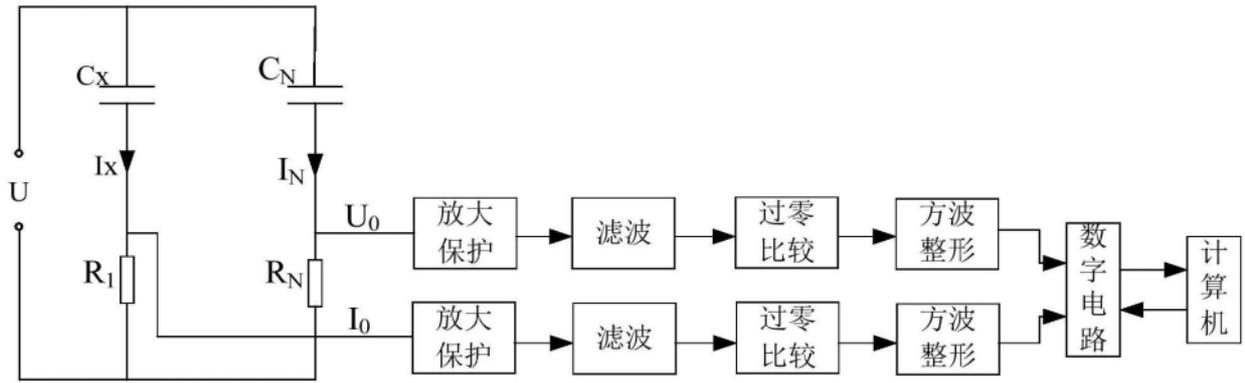


图1C

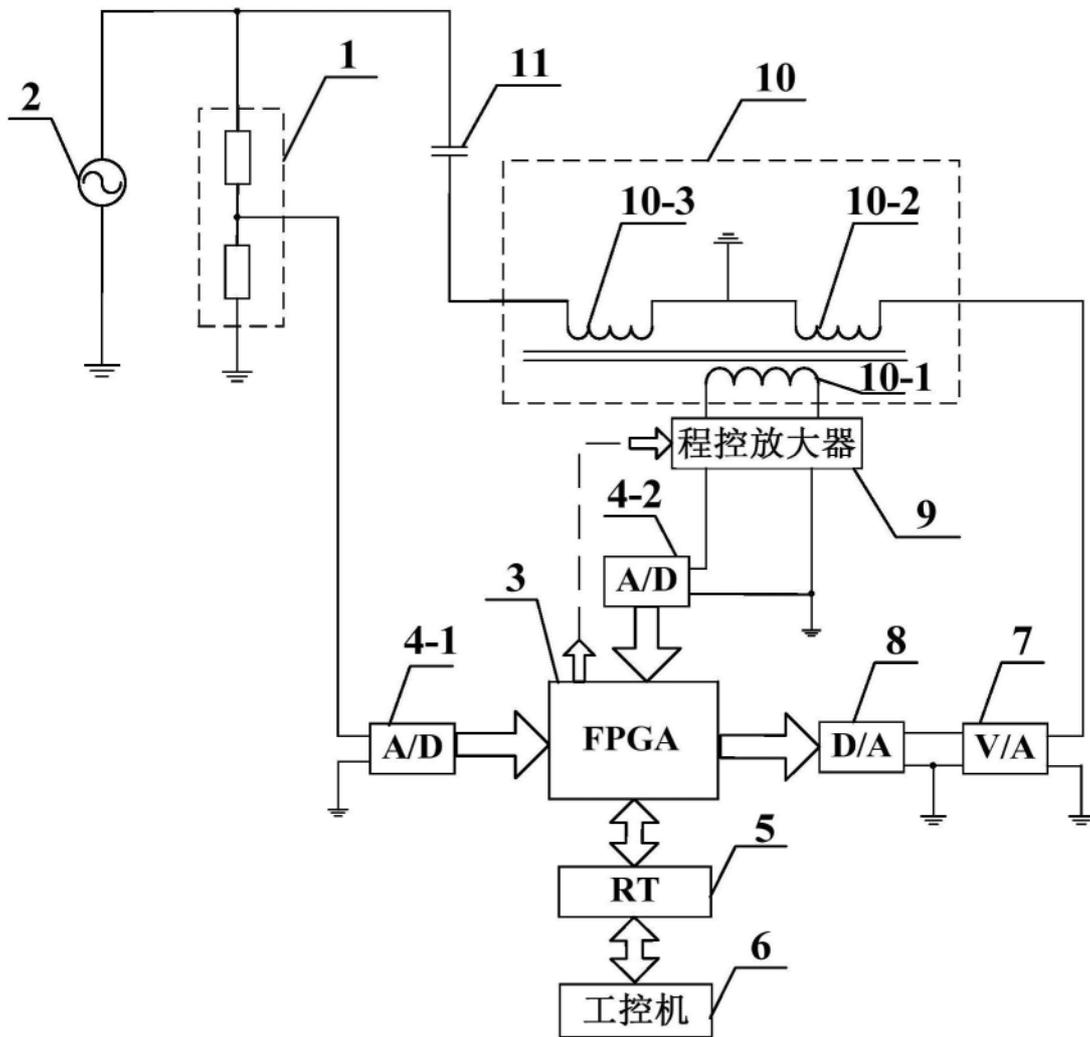


图2

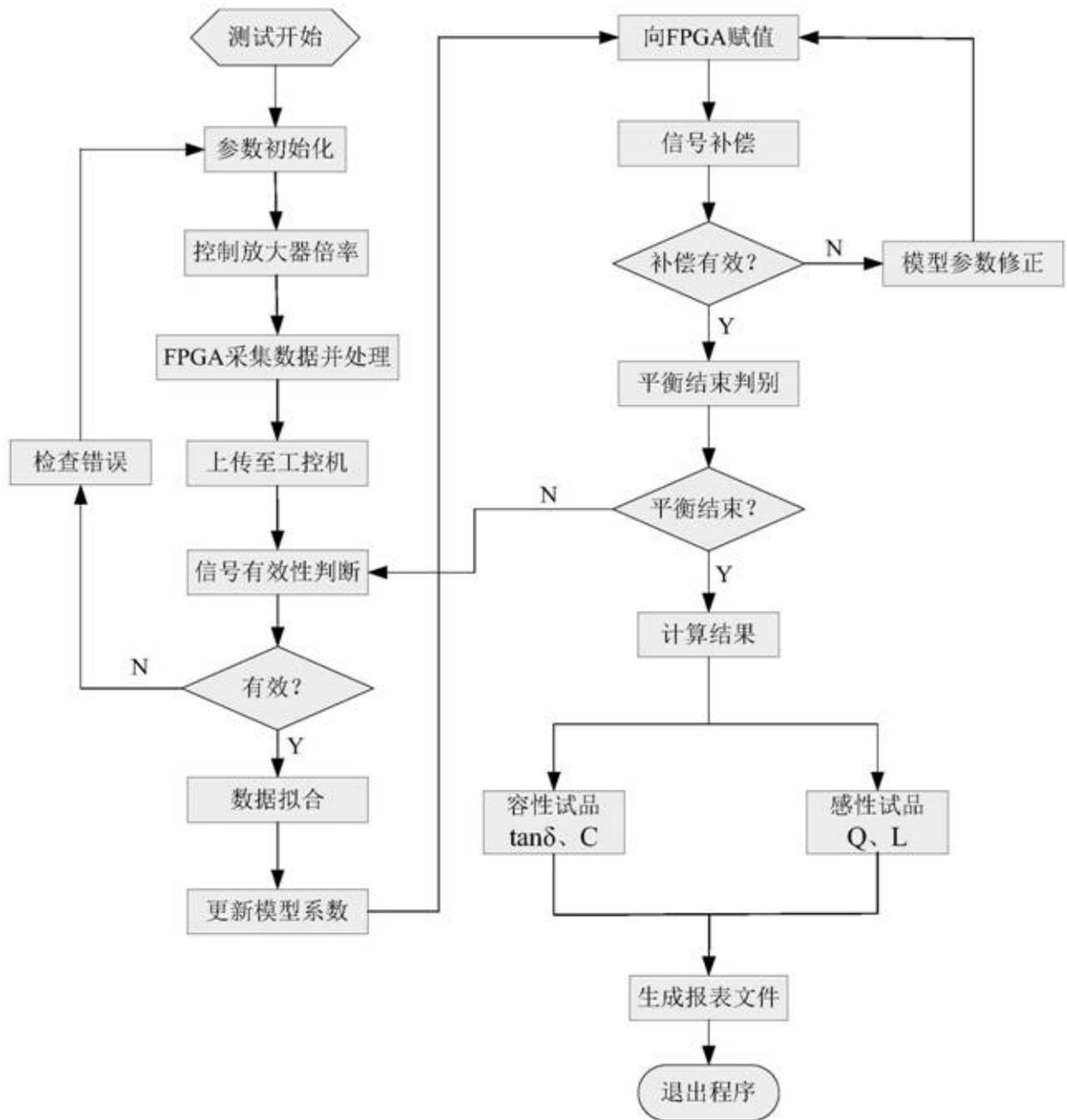


图3