



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 120085046 A

(43) 申请公布日 2025. 06. 03

(21) 申请号 202411982158.3

G01R 27/08 (2006.01)

(22) 申请日 2024.12.31

H02H 7/26 (2006.01)

(71) 申请人 国网安徽省电力有限公司电力科学研究院

G06F 17/13 (2006.01)

G06F 17/11 (2006.01)

地址 230601 安徽省合肥市蜀山区紫云路299号

申请人 国网安徽省电力有限公司

(72) 发明人 高博 汪勋婷 丁津津 徐斌
袁伟博

(74) 专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限公司 32224

专利代理师 许婉静

(51) Int. Cl.

G01R 19/00 (2006.01)

G01R 19/25 (2006.01)

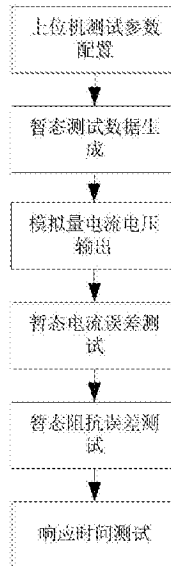
权利要求书3页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

一种模拟量采集执行单元暂态测试方法

(57) 摘要

本发明公开一种模拟量采集执行单元暂态测试方法,包括以下内容:基于同步后的试品暂态电流实时数据和标准暂态电流实时数据完成模拟量采集执行单元暂态电流误差测试;利用测试主机对试品暂态电流实时数据和标准暂态电流实时数据进行暂态实时阻抗计算,完成模拟量采集执行单元暂态阻抗误差测试;获取模拟量采集执行单元电流暂态延时时间、获取模拟量采集执行单元与线路保护整体阻抗保护的動作时间、获取线路保护阻抗動作时间、获取整个线路保护回路的整组動作时间以及获取模拟量采集执行单元操作回路動作时间完成响应时间测试。本发明一次试验即可完成模拟量采集执行单元以及线路保护的多种功能试验,节约现场暂态测试时间。



1. 一种模拟量采集执行单元暂态测试方法,其特征是,包括:

将预先配置的参数输入至模拟量采集执行单元暂态测试系统中的ARM系统生成测试数据,ARM系统将测试数据离散化后输入至FPGA芯片;

FPGA芯片将离散数据经多个模块转换后,由所述多个模块得到标准回采信号,所述多个模块将标准回采信号输入至FPGA芯片;

FPGA芯片同步通过光纤以太网1采集来自于模拟量采集执行单元的SMV信号,并基于采集到的SMV信号生成试品暂态电流实时数据和试品暂态电压实时数据;

FPGA芯片读取SMV信号中的额定延时值并对标准回采信号按照额定延时进行二次插值,生成与SMV信号同步的电流采样值标准数据作为标准暂态电流实时数据,以及与SMV信号同步的电压采样值标准数据作为标准暂态电压实时数据;

基于同步后的试品暂态电流实时数据和标准暂态电流实时数据完成模拟量采集执行单元暂态电流误差测试;

利用测试主机对试品暂态电流实时数据、试品暂态电压实时数据、标准暂态电流实时数据和标准暂态电压实时数据进行暂态实时阻抗计算,完成模拟量采集执行单元暂态阻抗误差测试;

获取模拟量采集执行单元电流暂态延时时间 T_{d1} 、模拟量采集执行单元与线路保护整体阻抗保护的動作时间 T_{d2} 、线路保护阻抗動作时间 T_{dr} 、整个线路保护回路的整组動作时间 T_{d3} 以及模拟量采集执行单元操作回路動作时间 T_{dz} ,完成响应时间测试。

2. 根据权利要求1所述的模拟量采集执行单元暂态测试方法,其特征是,

所述模拟量采集执行单元暂态测试系统包括顺次连接的模拟量采集执行单元测试仪、模拟量采集执行单元以及线路保护单元;所述模拟量采集执行单元测试仪包括顺次连接的上位机和测试主机;

所述将预先配置的参数输入至模拟量采集执行单元暂态测试系统中的ARM系统生成测试数据,ARM系统将测试数据离散化后输入至FPGA芯片包括:在所述上位机进行参数配置,将配置好的参数通过以太网输入至所述ARM系统并生成函数公式,所述ARM系统基于所述函数公式生成离散数据并将所述离散数据输入至测试主机中的FPGA芯片;

所述预先配置的参数包括故障过程的三相电压幅值 U_m 、故障电压相位角 α 、阻抗角 φ 、短路回路电感 L 与短路回路电阻 R ;

所述故障过程包括电流从故障前到故障后突变的过程。

3. 根据权利要求1所述的模拟量采集执行单元暂态测试方法,其特征是,

所述多个模块包括顺次连接的DA转换模块、三相电流和三相电压功率放大器、电压电流转换模块以及AD转换模块;

所述FPGA芯片将离散数据经多个模块转换后得到标准回采信号,并将标准回采信号输入至FPGA芯片,包括:

所述FPGA芯片将离散数据输入至所述DA转换模块并通过所述DA转换模块将所述离散数据转换成小电压方式的连续的三相电流和三相电压信号;

将所述小电压方式的连续的三相电流和三相电压信号输入至所述三相电流和三相电压功率放大器,通过所述三相电流和三相电压功率放大器将所述小电压方式的连续的三相电流和三相电压信号转换成带功率的二次暂态电流电压信号;

将所述带功率的二次暂态电流电压信号输入至所述电压电流转换模块并通过所述电压电流转换模块将所述带功率的二次暂态电流电压信号转换成小电压方式的二次暂态电流电压信号；

将所述小电压方式的二次暂态电流电压信号输入至所述AD转换模块,通过所述AD转换模块将所述小电压方式的二次暂态电流电压信号进行数字离散化,完成三相暂态电流电压信号的回采,得到标准回采信号,再将所述标准回采信号重新输入至FPGA芯片。

4. 根据权利要求2所述的模拟量采集执行单元暂态测试方法,其特征是,所述基于同步后的试品暂态电流实时数据和标准暂态电流实时数据完成模拟量采集执行单元暂态电流误差测试,包括:

采用标准暂态电流突变前最后一个电流为0的时刻记为故障突变起始时刻 $t_{\text{突变}}$,记 $t_{\text{突变}}$ 为0时刻,测试时故障衰减时间为 T_a ,将数据窗放大一倍,采用 $2T_a$ 数据建立故障数据窗,

对所述故障数据窗内的两组暂态数据求取两组数据之间的电流差值,并形成实时误差曲线,最后根据误差曲线获取最大误差电流,最大误差电流不超过标准电流幅值的特定范围即为合格。

5. 根据权利要求4所述的模拟量采集执行单元暂态测试方法,其特征是,所述ARM系统基于所述函数公式生成离散数据包括:所述ARM系统基于所述函数公式生成故障前电流数据、故障前电压数据、故障后电流数据和故障后电压数据;再将生成的数据进行离散化得到离散数据;

所述故障前三相电压数据通过以下公式计算获得:

$$u(t) = U_N \sin(\omega t + a),$$

式中, $u(t)$ 为故障前电压, U_N 为二次暂态电压额定值, a 为故障电压相位角, ω 为角频率, t 为采样时间;

A、B、C分别为故障前电压 $u(t)$ 的三相位,A、B、C三相故障前电压分别为 a 度、 $a-120$ 度和 $a+120$ 度;

所述故障前电流数据为0,三相电流均为0;

所述故障后电压数据通过以下公式计算获得:

$$u'(t) = U_m \sin(\omega t + a),$$

式中, $u'(t)$ 为故障后电压, U_m 为故障后电压幅值;

A' 、 B' 、 C' 分别为故障后电压 $u'(t)$ 的三相位, A' 、 B' 、 C' 三相故障后电压分别为 a 度、 $a-120$ 度和 $a+120$ 度;

所述故障后电流数据通过以下公式计算获得:

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + a - \varphi) - I_m \sin(a - \varphi) e^{-\frac{t}{T_a}},$$

式中, $i(t)$ 为故障后电流, I_m 为故障后电流周期分量的幅值, φ 为阻抗角, $T_a = L/R$, L 与 R 分别为短路回路电感和短路回路电阻。

6. 根据权利要求5所述的模拟量采集执行单元暂态测试方法,其特征是,所述利用测试主机对试品暂态电流实时数据、试品暂态电压实时数据、标准暂态电流实时数据和标准暂

态电压实时数据进行暂态实时阻抗计算,完成模拟量采集执行单元暂态阻抗误差测试,包括:根据故障回路的微分方程获得第n点的实时阻抗方程:

所述故障回路的微分方程为: $u=R*i+L*di/dt$,

所述第n点的实时阻抗方程为: $u(n)=R*i(n)+L*(i(n+1)-i(n))/2T_s$,

通过所述第n点的实时阻抗方获得第n+1点的实时阻抗方程:

$u(n+1)=R*i(n+1)+L*(i(n+2)-i(n))/2T_s$,

式中,i为标准暂态电流,n为采样点, $u(n)$ 为第n点的标准暂态电压, $u(n+1)$ 为第n+1点的标准暂态电压, T_s 为采样间隔;

根据连续两个点的实时阻抗方程求出两个未知数短路回路电阻R与短路回路电感L,形成试品暂态电流实时数据的两条R曲线与标准暂态电流实时数据的两条L曲线并通过试品暂态电流实时数据的R曲线与标准暂态电流实时数据L曲线分别求取试品暂态电流实时数据的两条R曲线与标准暂态电流实时数据的两条L曲线之间的差值 ΔR 和 ΔL ,其最大差值不超过标准R与L的特定范围即为合格。

7.根据权利要求6所述的模拟量采集执行单元暂态测试方法,其特征是,

所述获取模拟量采集执行单元电流暂态延时时间 Td_1 包括:记录所述标准暂态电流实时数据突变时刻 t_1 ,经过加Hanning窗的傅氏滤波,获取信号 t_1 时刻的基波相位 φ_1 ,同时计算所述模拟量采集执行单元暂态测试系统当前频率 f ,获取所述试品暂态电流实时数据突变时刻 t_2 ,并提取此时的基波相位 φ_2 ,得到时间的补偿量 Δt , $\Delta t=(\varphi_1-\varphi_2)/2\pi f$,模拟量采集执行单元电流暂态延时时间 Td_1 通过以下公式计算获得:

$Td_1=t_2-t_1-\Delta t$;

所述模拟量采集执行单元与线路保护整体阻抗保护的动作时间 Td_2 的获取方法包括:所述测试主机通过光纤以太网2读取来自于线路保护单元的GOOSE信号并记录GOOSE信号的变位时刻,GOOSE信号通过GOOSE报文的方式在所述测试主机中传输,GOOSE报文变位上送机制为0-2-2-4-8ms共5帧报文,记录0时刻报文到达时间为变位时刻,并将变位时刻记为模拟量采集执行单元与线路保护整体阻抗保护的动作时间 Td_2 ,

所述获取线路保护阻抗动作时间 Tdr 通过以下公式计算获得:

$Tdr=Td_2-Td_1$ 。

8.根据权利要求7所述的模拟量采集执行单元暂态测试方法,其特征是,

所述整个线路保护回路的整组动作时间 Td_3 的获取方法包括:通过开关量输入通道接入所述模拟量采集执行单元的跳闸接点,记录开关量到达时间并将开关量到达时间记为整个线路保护回路的整组动作时间 Td_3 ;

所述模拟量采集执行单元操作回路动作时间 Tdz 的获取方法包括:通过以下公式计算获得: $Tdz=Td_3-Td_2$ 。

一种模拟量采集执行单元暂态测试方法

技术领域

[0001] 本发明涉及新一代智能变电站过程层设备测试技术领域,属于,特别是一种模拟量采集执行单元暂态测试方法。

背景技术

[0002] 智能变电站是采用可靠、经济、集成、低碳、环保的设备与设计,以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化、系统功能集成化、结构设计紧凑化、高压设备智能化和运行状态可视化等为基本要求,能够支持电网实时在线分析和控制决策,进而提高整个电网运行可靠性及经济性的变电站。自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和检测等基本功能,同时具备支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策和协同互动等高级功能的变电站。

[0003] 新一代智能变电站是在原有的技术基础上增加了自主可控的要求,在过程层主要变化是将原来的智能终端与模拟量输入的合并单元整合在一起实现间隔智能化,形成一个新的过程层设备采集执行单元。当采用传统互感器时,即为模拟量采集执行单元,其主要工作模式如图2所示,模拟量采集执行单元集成原有的模拟量合并单元与智能终端的功能,采集传统电流、电压互感器的模拟量信号以及来自于一次开关设备及其操作机构的开关量信息,将采样值数据以及开关量信息以点对点光纤通信的方式上送至间隔层设备。模拟量采集执行单元同时通过光纤通信接收来自于间隔层设备的分合闸命令以及遥控命令来对一次开关设备进行分合闸操作。

[0004] 目前关于模拟量采集执行单元的暂态过程测试基本还是采用合并单元测试的方式,暂态测试主要是针对电流回路来实施,由于跨间隔保护基本都是采用电流差动,电压暂态不需要考虑,原有线路保护设备是本身采样,一般线路保护单独测试时直接给线路保护设备施加暂态电流、电压信号就可以完成。传统线路保护是将电流、电压采样与保护算法看成一个整体来考虑,保护算法内对电流电压的暂态特性进行补偿即可。但采用模拟量采集执行单元以后,线路保护的电流与电压采样回路为公共回路,如果暂态特性测试的缺失,必将会给线路保护的安全运行带来巨大风险。而单独的电流回路的暂态测试并不能解决线路阻抗保护对于采集执行单元采样暂态特性依赖的问题。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种模拟量采集执行单元暂态测试方法,模拟量采集执行单元通过集成原有的模拟量合并单元与智能终端的功能,采集传统电流、电压互感器的模拟量信号以及来自于一次开关设备及其操作机构的开关量信息完成线路保护全回路响应测试,能够节约现场暂态测试时间,提高线路保护的安全性。本发明是通过以下技术方案实现的。

[0006] 本发明介绍一种模拟量采集执行单元暂态测试方法,包括以下内容:

[0007] 将预先配置的参数输入至模拟量采集执行单元暂态测试系统中的ARM系统生成测

试数据,ARM系统将测试数据离散化后输入至FPGA芯片;

[0008] FPGA芯片将离散数据经多个模块转换后,由所述多个模块得到标准回采信号,所述多个模块将标准回采信号输入至FPGA芯片;

[0009] FPGA芯片同步通过光纤以太网1采集来自于模拟量采集执行单元的SMV信号,并基于采集到的SMV信号生成试品暂态电流实时数据和试品暂态电压实时数据;

[0010] FPGA芯片读取SMV信号中的额定延时值并对标准回采信号按照额定延时进行二次插值,生成与SMV信号同步的电流采样值标准数据作为标准暂态电流实时数据以及与SMV信号同步的电压采样值标准数据作为标准暂态电压实时数据;

[0011] 基于同步后的试品暂态电流实时数据和标准暂态电流实时数据完成模拟量采集执行单元暂态电流误差测试;

[0012] 利用测试主机对试品暂态电流实时数据、试品暂态电压实时数据、标准暂态电流实时数据和标准暂态电压实时数据进行暂态实时阻抗计算,完成模拟量采集执行单元暂态阻抗误差测试;

[0013] 获取模拟量采集执行单元电流暂态延时时间Td1、模拟量采集执行单元与线路保护整体阻抗保护的動作时间Td2、线路保护阻抗動作时间Tdr、整个线路保护回路的整组動作时间Td3以及模拟量采集执行单元操作回路動作时间Tdz完成响应时间测试。

[0014] 可选的,所述模拟量采集执行单元暂态测试系统包括顺次连接的模拟量采集执行单元测试仪、模拟量采集执行单元以及线路保护单元;所述模拟量采集执行单元测试仪包括顺次连接的上位机和测试主机;

[0015] 所述将预先配置参数输入至模拟量采集执行单元暂态测试系统中的ARM系统生成测试数据,ARM系统将测试数据离散化后输入至FPGA芯片包括:在所述上位机进行参数配置,将配置好的参数通过以太网输入至所述ARM系统并生成函数公式,所述ARM系统基于所述函数公式生成离散数据并将所述离散数据输入至测试主机中的FPGA芯片;

[0016] 所述预先配置参数包括故障过程的三相电压幅值 U_m 、故障电压相位角 α 、阻抗角 φ 、短路回路电感 L 与短路回路电阻 R ;

[0017] 所述故障过程包括电流从故障前到故障后突变的过程。

[0018] 可选的,所述多个模块包括顺次连接的DA转换模块、三相电流和三相电压功率放大器、电压电流转换模块以及AD转换模块;

[0019] 所述FPGA芯片将离散数据经多个模块转换后得到标准回采信号,并将标准回采信号输入至FPGA芯片,包括:

[0020] 所述FPGA芯片将离散数据输入至所述DA转换模块并通过所述DA转换模块将所述离散数据转换成小电压方式的连续的三相电流和三相电压信号;

[0021] 将所述小电压方式的连续的三相电流和三相电压信号输入至所述三相电流和三相电压功率放大器,通过所述三相电流和三相电压功率放大器将所述小电压方式的连续的三相电流和三相电压信号转换成带功率的二次暂态电流电压信号;

[0022] 将所述带功率的二次暂态电流电压信号输入至所述电压电流转换模块并通过所述电压电流转换模块将所述带功率的二次暂态电流电压信号转换成小电压方式的二次暂态电流电压信号;

[0023] 将所述小电压方式的二次暂态电流电压信号输入至所述AD转换模块,通过所述AD

转换模块将所述小电压方式的二次暂态电流电压信号进行数字离散化,完成三相暂态电流电压信号的回采,得到标准回采信号,再将所述标准回采信号重新输入至FPGA芯片。

[0024] 可选的,所述基于同步后的试品暂态电流实时数据和标准暂态电流实时数据完成模拟量采集执行单元暂态电流误差测试,包括:

[0025] 采用标准暂态电流突变前最后一个电流为0的时刻记为故障突变起始时刻 $t_{\text{突变}}$,记 $t_{\text{突变}}$ 为0时刻,由于测试时故障衰减时间为 T_a ,所以将数据窗放大一倍,采用 $2T_a$ 数据建立故障数据窗,

[0026] 对所述故障数据窗内的两组暂态数据求取两组数据之间的电流差值,并形成实时误差曲线,最后根据误差曲线获取最大误差电流,最大误差电流不超过标准电流幅值的10%围即为合格。

[0027] 可选的,所述ARM系统基于所述函数公式生成离散数据包括:所述ARM系统基于所述函数公式生成故障前电流数据、故障前电压数据、故障后电流数据和故障后电压数据,再将生成的数据进行离散化得到离散数据;

[0028] 所述故障前三相电压数据通过以下公式计算获得:

$$[0029] \quad u(t) = U_N \sin(\omega t + a),$$

[0030] 式中, $u(t)$ 为故障前电压, U_N 为二次暂态电压额定值, a 为故障电压相位角, ω 为角频率, t 为采样时间;

[0031] A、B、C分别为故障前电压 $u(t)$ 的三相位,A、B、C故障前三相电压分别为a度、a-120度和a+120度;

[0032] 所述故障前电流数据为0;由于故障前一次系统空载,所以三相电流均0;

[0033] 所述故障后电压数据通过以下公式计算获得:

$$[0034] \quad u'(t) = U_m \sin(\omega t + a),$$

[0035] 式中, $u'(t)$ 为故障后电压, U_m 为故障后电压幅值;

[0036] A' 、 B' 、 C' 分别为故障后电压 $u'(t)$ 的三相位, A' 、 B' 、 C' 故障后三相电压分别为为a度、a-120度和a+120度;

[0037] 所述故障后电流数据通过以下公式计算获得:

$$[0038] \quad i(t) = I_m \sin(\omega t + a - \varphi) - I_m \sin(a - \varphi) e^{-\frac{t}{T_a}},$$

[0039] 式中, $i(t)$ 为故障后电流, I_m 为故障后电流周期分量的幅值, φ 为阻抗角, $T_a = L/R$,L与R分别为短路回路电感和短路回路电阻。

[0040] 将上述生成的公式进行离散化处理,以A相故障后电流电压为例:

$$[0041] \quad u'(n) = u'(nT_s) = U_m \sin(\omega nT_s + a),$$

$$[0042] \quad i'(n) = i'(nT_s) = I_m \sin(\omega nT_s + a - \varphi) - I_m \sin(a - \varphi) e^{-\frac{nT_s}{T_a}},$$

[0043] 其中, $u'(n)$ 为离散化后的A相故障后电压, $i'(n)$ 为离散化后的A相故障后电流, T_s 为离散化的采样间隔时间,由D/A模块的配置参数来决定,为了保证暂态输出的精度,D/A模块采用20kHz的转换速率,所以 T_s 为0.05ms。

[0044] 测试主机内的ARM将离散后的数据通过片内总线交由FPGA,FPGA产生0.05ms中断来控制D/A芯片的数模转换,再由D/A芯片将FPGA的离散数据以小电压方式输出至三相电流、电压功率放大器。

[0045] 可选的,所述利用测试主机对试品暂态电流实时数据、试品暂态电压实时数据、标准暂态电流实时数据和标准暂态电压实时数据进行暂态实时阻抗计算,完成模拟量采集执行单元暂态阻抗误差测试,包括:根据故障回路的微分方程获得第n点的实时阻抗方程:

[0046] 所述故障回路的微分方程为: $u = R * i + L * di / dt$,

[0047] 所述第n点的实时阻抗方程为: $u(n) = R * i(n) + L * (i(n+1) - i(n-1)) / 2T_s$,

[0048] 通过所述第n点的实时阻抗方获得第n+1点的实时阻抗方程:

[0049] $u(n+1) = R * i(n+1) + L * (i(n+2) - i(n)) / 2T_s$,

[0050] 式中,i为标准暂态电流,n为采样点, $u(n)$ 为第n点的标准暂态电压, $u(n+1)$ 为第n+1点的标准暂态电压, T_s 为采样间隔;在本发明中,读取的SMV信号通过9-2报文形式传输, T_s 为9-2报文采样速率为4kHz的采样间隔时间0.25ms。

[0051] 实际应用中阻抗方程中的电流和电压也可以为试品暂态电流和试品暂态电压,即采样点对应的实时阻抗既可以由标准暂态电流电压数据求出,也可以由试品暂态电流电压数据求出。

[0052] 根据连续两个点的实时阻抗方程求出两个未知数短路回路电阻R与短路回路电感L,形成试品暂态电流实时数据的两条R曲线与标准暂态电流实时数据的两条L曲线并通过试品暂态电流实时数据的R曲线与标准暂态电流实时数据L曲线分别求取试品暂态电流实时数据的两条R曲线与标准暂态电流实时数据的两条L曲线之间的差值 ΔR 和 ΔL ,其最大差值不超过标准R与L的10%即为合格。

[0053] 可选的,所述获取模拟量采集执行单元电流暂态延时时间 T_{d1} 包括:记录所述标准暂态电流实时数据突变时刻 t_1 ,经过加Hanning窗的傅氏滤波,获取信号 t_1 时刻的基波相位 φ_1 ,同时计算所述模拟量采集执行单元暂态测试系统当前频率 f ,获取所述试品暂态电流实时数据突变时刻 t_2 ,并提取此时的基波相位 φ_2 ,得到时间的补偿量 Δt , $\Delta t = (\varphi_1 - \varphi_2) / 2\pi f$,模拟量采集执行单元电流暂态延时时间 T_{d1} 通过以下公式计算获得:

[0054] $T_{d1} = t_2 - t_1 - \Delta t$;

[0055] 所述模拟量采集执行单元与线路保护整体阻抗保护的动作时间 T_{d2} 的获取方法包括:模拟量采集执行单元同时还具有保护跳闸功能,所以所述测试主机通过光纤以太网2读取来自于线路保护单元的GOOSE信号并记录GOOSE信号的变位时刻,GOOSE信号通过GOOSE报文的方式在所述测试主机中传输,GOOSE报文变位上送机制为0-2-2-4-8ms共5帧报文,记录0时刻报文到达时间为变位时刻,并将变位时刻记为模拟量采集执行单元与线路保护整体阻抗保护的动作时间 T_{d2} ,

[0056] 所述获取线路保护阻抗动作时间 T_{dr} 通过以下公式计算获得:

[0057] $T_{dr} = T_{d2} - T_{d1}$ 。

[0058] 可选的,所述获取整个线路保护回路的整组动作时间 T_{d3} 的获取方法包括:通过开关量输入通道接入所述模拟量采集执行单元的跳闸接点,记录开关量到达时间并将开关量到达时间记为整个线路保护回路的整组动作时间 T_{d3} ;

[0059] 所述模拟量采集执行单元操作回路动作时间 T_{dz} 的获取方法通过以下公式计算获得： $T_{dz} = T_{d3} - T_{d2}$ 。

[0060] 有益效果

[0061] (1) 本发明对标准信号按照试品的额定延时以及采样速率进行二次插值后再进行电流暂态误差测试,无需同步信号即可完成模拟量采集执行单元的暂态电流误差测试,能够提高暂态电流的测试精度。

[0062] (2) 本发明根据上位机阻抗配置参数生成故障过程的三相电流、电压信号数据后再进行离散化处理,便于用户进行阻抗测试;采用FPGA硬件方式控制D/A模块输出暂态小电压信号再配合线性功率放大器,能够保证暂态过程电流电压同步性以及输出精度;采用微分方程进行暂态实时阻抗计算,可兼容不同厂家阻抗算法对于实时阻抗精度误差测试的需求。

[0063] (3) 本发明利用FPGA的硬件特性,采集多点,多数据源如标准源的模拟信号、模拟量采集执行单元的SMV数字信号、线路保护动作跳闸的GOOSE信号和模拟量采集执行单元的开关量输出信号的精确时间,一次试验即可完成模拟量采集执行单元以及线路保护的多种功能试验,能够节约现场暂态测试时间。

附图说明

[0064] 图1所示为本发明模拟量采集执行单元暂态测试方法流程示意图;

[0065] 图2所示为本发明模拟量采集执行单元现场工作架构示意图;

[0066] 图3所示为本发明模拟量采集执行单元暂态测试系统架构示意图;

[0067] 图4所示为本发明测试主机硬件架构示意图。

具体实施方式

[0068] 以下结合附图和具体实施例进一步描述。在本发明的描述中,需要理解的是,术语“第一”、“第二”等仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”等的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征。

[0069] 实施例1

[0070] 本实施例介绍一种模拟量采集执行单元暂态测试方法,如图1所示,包括以下内容:

[0071] 将预先配置的参数输入至模拟量采集执行单元暂态测试系统中的ARM系统生成测试数据,ARM系统将测试数据离散化后输入至FPGA芯片;

[0072] FPGA芯片将离散数据经多个模块转换后,由所述多个模块得到标准回采信号,所述多个模块将标准回采信号输入至FPGA芯片;

[0073] FPGA芯片同步通过光纤以太网1采集来自于模拟量采集执行单元的SMV信号,并基于采集到的SMV信号生成试品暂态电流实时数据和试品暂态电压实时数据;

[0074] FPGA芯片读取SMV信号中的额定延时值并对标准回采信号按照额定延时进行二次插值,生成与SMV信号同步的电流采样值标准数据作为标准暂态电流实时数据,以及与SMV信号同步的电压采样值标准数据作为标准暂态电压实时数据;

[0075] 基于同步后的试品暂态电流实时数据和标准暂态电流实时数据完成模拟量采集执行单元暂态电流误差测试；

[0076] 利用测试主机对试品暂态电流实时数据、试品暂态电压实时数据、标准暂态电流实时数据和标准暂态电压实时数据进行暂态实时阻抗计算,完成模拟量采集执行单元暂态阻抗误差测试；

[0077] 获取模拟量采集执行单元电流暂态延时时间Td1、模拟量采集执行单元与线路保护整体阻抗保护的動作时间Td2、线路保护阻抗動作时间Tdr、整个线路保护回路的整组動作时间Td3以及模拟量采集执行单元操作回路動作时间Tdz完成响应时间测试。

[0078] 实际应用中,由于现有技术的线路保护阻抗测试只是针对线路保护的阻抗特性进行暂态测试,而对于模拟量采集执行单元来说是一个独立设备,其自身特性无法被测试,无法对测试结果进行评估;以及模拟量合并单元测试时一般都是进行稳态测试来,暂态测试采用电流突变的方式来暂态过程的时间特性,以解决稳态测试相位角带来的时间误差,但对于模拟量采集执行单元的采样回路暂态误差无法测试,尤其是和阻抗相关的暂态误差测试基本没有涉及。本实施例通过集成原有的模拟量合并单元与智能终端的功能,采集传统电流、电压互感器的模拟量信号以及来自于一次开关设备及其操作机构的开关量信息完成线路保护全回路响应测试,能够节约现场暂态测试时间,提高线路保护的安全性。

[0079] 实施例2

[0080] 在实施例1的基础上,本实施例介绍一种模拟量采集执行单元暂态测试方法的具体实现过程。

[0081] 图3为本实施例一种模拟量采集执行单元暂态测试系统架构示意图,模拟量采集执行单元暂态测试系统包括顺次连接的模拟量采集执行单元测试仪、模拟量采集执行单元以及线路保护装置;模拟量采集执行单元测试仪包括顺次连接的上位机和测试主机。

[0082] 在具体实施过程中,所述模拟量采集执行单元暂态测试方法具体包括以下内容:

[0083] 步骤1:进行参数配置

[0084] 在上位机进行参数配置,预先配置的参数包括故障过程的三相电压幅值 U_m 、故障电压相位角 α 、阻抗角 φ 、短路回路电感 L 与短路回路电阻 R ;其中,故障过程包括电流从故障前到故障后突变的过程。

[0085] 步骤2:测试数据生成

[0086] 测试主机基于配置好的参数生成故障前电流数据、故障前电压数据、故障后电流数据和故障后电压数据。具体为:将配置好的参数输入至测试主机的ARM系统中,所述ARM系统基于所述函数公式生成故障前电流数据、故障前电压数据、故障后电流数据和故障后电压数据,再将生成的数据进行离散化得到离散数据;

[0087] 所述故障前三相电压数据通过以下公式计算获得:

$$[0088] \quad u(t) = U_N \sin(\omega t + \alpha),$$

[0089] 式中, $u(t)$ 为故障前电压, U_N 为二次暂态电压额定值, α 为故障电压相位角, ω 为角频率, t 为时间;

[0090] A、B、C分别为故障前电压 $u(t)$ 的三相, A、B、C故障前三相电压分别为a度、a-120度和a+120度;

[0091] 所述故障前电流数据为0;由于故障前一次系统空载,所以三相电流均0;

[0092] 所述故障后电压数据通过以下公式计算获得:

$$[0093] \quad \dot{u}(t) = U_m \sin(\omega t + a),$$

[0094] 式中, $\dot{u}(t)$ 为故障后电压, U_m 为故障后电压幅值;

[0095] \dot{A} 、 \dot{B} 、 \dot{C} 分别为故障后电压 $\dot{u}(t)$ 的三相位, \dot{A} 、 \dot{B} 、 \dot{C} 故障后三相电压分别为为a度、a-120度和a+120度;

[0096] 所述故障后电流数据通过以下公式计算获得:

$$[0097] \quad i(t) = I_m \sin(\omega t + a - \varphi) - I_m \sin(a - \varphi) e^{-\frac{t}{T_s}},$$

[0098] 式中, $i(t)$ 为故障后电流, I_m 为故障后电流周期分量的幅值, φ 为阻抗角, $T_s = L/R$, L与R分别为短路回路电感和短路回路电阻。

[0099] 步骤3:模拟电流电压输出

[0100] 将步骤2生成的公式进行离散化处理,以A相故障后电流电压为例:

$$[0101] \quad u'(n) = u'(nT_s) = U_m \sin(\omega nT_s + a),$$

$$[0102] \quad i'(n) = i'(nT_s) = I_m \sin(\omega nT_s + a - \varphi) - I_m \sin(a - \varphi) e^{-\frac{nT_s}{T_s}},$$

[0103] 其中, $u'(n)$ 为离散化后的A相故障后电压, $i'(n)$ 为离散化后的A相故障后电流, T_s 为离散化的采样间隔时间,由D/A模块的配置参数来决定,为了保证暂态输出的精度,D/A模块采用20kHz的转换速率,所以 T_s 为0.05ms。其他生成的数据以上述公式形式进行离散化。

[0104] 如图4所示为本实施例测试主机硬件架构示意图,在图4中进行以下操作:测试主机内的ARM将离散后的数据通过片内总线交由测试主机的FPGA芯片,FPGA芯片产生0.05ms中断来控制D/A模块的数模转换,FPGA芯片将离散数据输入至所述DA转换模块并通过所述DA转换模块将所述离散数据转换成小电压方式的连续的三相电流和三相电压信号;

[0105] 将所述小电压方式的连续的三相电流和三相电压信号输入至所述三相电流和三相电压功率放大器,通过所述三相电流和三相电压功率放大器将所述小电压方式的连续的三相电流和三相电压信号转换成带功率的二次暂态电流电压信号;

[0106] 将所述带功率的二次暂态电流电压信号输入至所述电压电流转换模块并通过所述电压电流转换模块将所述带功率的二次暂态电流电压信号转换成小电压方式的二次暂态电流电压信号;

[0107] 将所述小电压方式的二次暂态电流电压信号输入至所述AD转换模块,通过所述AD转换模块将所述小电压方式的二次暂态电流电压信号进行数字离散化,完成三相暂态电流电压信号的回采,得到标准回采信号,再将所述标准回采信号重新输入至FPGA芯片。

[0108] 步骤4:模拟量采集执行单元暂态电流误差测试

[0109] 如图4所示,FPGA芯片同步通过光纤以太网1采集来自于模拟量采集执行单元的SMV信号作为试品暂态电流实时数据和试品暂态电压实时数据;

[0110] FPGA芯片读取SMV信号中的额定延时值并对标准回采信号按照额定延时进行二次插值,插出与SMV信号同一时刻的电流采样值标准数据作为标准暂态电流实时数据;插出与SMV信号同一时刻的电压采样值标准数据作为标准暂态电压实时数据;

[0111] 基于同步后的试品暂态电流实时数据和标准暂态电流实时数据完成模拟量采集执行单元暂态电流误差测试:采用标准暂态电流突变前最后一个电流为0的时刻记为故障突变起始时刻 $t_{\text{突变}}$,记 $t_{\text{突变}}$ 为0时刻,测试时故障衰减时间为 T_a ,将数据窗放大一倍,采用 $2T_a$ 数据建立故障数据窗,

[0112] 对所述故障数据窗内的两组暂态数据求取两组数据之间的电流差值,并形成实时误差曲线,最后根据误差曲线获取最大误差电流,最大误差电流不超过标准电流幅值的10%即为合格。

[0113] 步骤5:模拟量采集执行单元暂态阻抗误差测试

[0114] 利用测试主机对试品暂态电流实时数据、试品暂态电压实时数据、标准暂态电流实时数据和标准暂态电压实时数据进行暂态实时阻抗计算,完成模拟量采集执行单元暂态阻抗误差测试,包括:根据故障回路的微分方程获得第n点的实时阻抗方程:

[0115] 所述故障回路的微分方程为: $u = R * i + L * di / dt$,

[0116] 所述第n点的实时阻抗方程为: $u(n) = R * i(n) + L * (i(n+1) - i(n-1)) / 2T_s$,

[0117] 通过所述第n点的实时阻抗方获得第n+1点的实时阻抗方程:

[0118] $u(n+1) = R * i(n+1) + L * (i(n+2) - i(n)) / 2T_s$,

[0119] 式中,i为标准暂态电流,n为采样点, $u(n)$ 为第n点的标准暂态电压, $u(n+1)$ 为第n+1点的标准暂态电压, T_s 为采样间隔;在本发明中,读取的SMV信号通过9-2报文形式传输, T_s 为9-2报文采样速率为4kHz的采样间隔时间0.25ms。

[0120] 实际应用中阻抗方程中的电流和电压也可以为试品暂态电流和试品暂态电压,即采样点对应的实时阻抗既可以由标准暂态电流电压数据求出,也可以由试品暂态电流电压数据求出。

[0121] 根据连续两个点的实时阻抗方程求出两个未知数短路回路电阻R与短路回路电感L,形成试品暂态电流实时数据的两条R曲线与标准暂态电流实时数据的两条L曲线并通过试品暂态电流实时数据的R曲线与标准暂态电流实时数据L曲线分别求取试品暂态电流实时数据的两条R曲线与标准暂态电流实时数据的两条L曲线之间的差值 ΔR 和 ΔL ,其最大差值不超过标准R与L的10%即为合格。

[0122] 步骤6:响应时间测试

[0123] 记录所述标准暂态电流实时数据突变时刻 t_1 ,经过加Hanning窗的傅氏滤波,获取信号 t_1 时刻的基波相位 φ_1 ,同时计算所述模拟量采集执行单元暂态测试系统当前频率 f ,获取所述试品暂态电流实时数据突变时刻 t_2 ,并提取此时的基波相位 φ_2 ,得到时间的补偿量 Δt , $\Delta t = (\varphi_1 - \varphi_2) / 2\pi f$,模拟量采集执行单元电流暂态延时时间Td1通过以下公式计算获得:

[0124] $Td1 = t_2 - t_1 - \Delta t$;

[0125] 模拟量采集执行单元同时还具有保护跳闸功能,所以所述测试主机通过光纤以太网2读取来自于线路保护单元的GOOSE信号并记录GOOSE信号的变位时刻,GOOSE信号通过GOOSE报文的方式在所述测试主机中传输,GOOSE报文变位上送机制为0-2-2-4-8ms共5帧报文,记录0时刻报文到达时间为变位时刻,并将变位时刻记为模拟量采集执行单元与线路保

护整体阻抗保护的動作時間 $Td2$,

[0126] 获取线路保护阻抗動作時間 Tdr 通过以下公式计算获得:

[0127] $Tdr = Td2 - Td1$ 。

[0128] 通过开关量输入通道接入所述模拟量采集执行单元的跳闸接点,记录开关量到达时间并将开关量到达时间记为整个线路保护回路的整组動作時間 $Td3$;

[0129] 获取模拟量采集执行单元操作回路動作時間 Tdz 通过以下公式计算获得: $Tdz = Td3 - Td2$ 。

[0130] 获取到模拟量采集执行单元电流暂态延时時間 $Td1$ 、模拟量采集执行单元与线路保护整体阻抗保护的動作時間 $Td2$ 、线路保护阻抗動作時間 Tdr 、整个线路保护回路的整组動作時間 $Td3$ 以及模拟量采集执行单元操作回路動作時間 Tdz 具体的值即为完成响应时间测试。

[0131] 以上结合附图对本发明的实施例进行了描述,但是本发明并不局限于上述的具体实施方式,上述的具体实施方式仅仅是示意性的,而不是限制性的,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,还可做出很多形式,这些均属于本发明的保护之内。

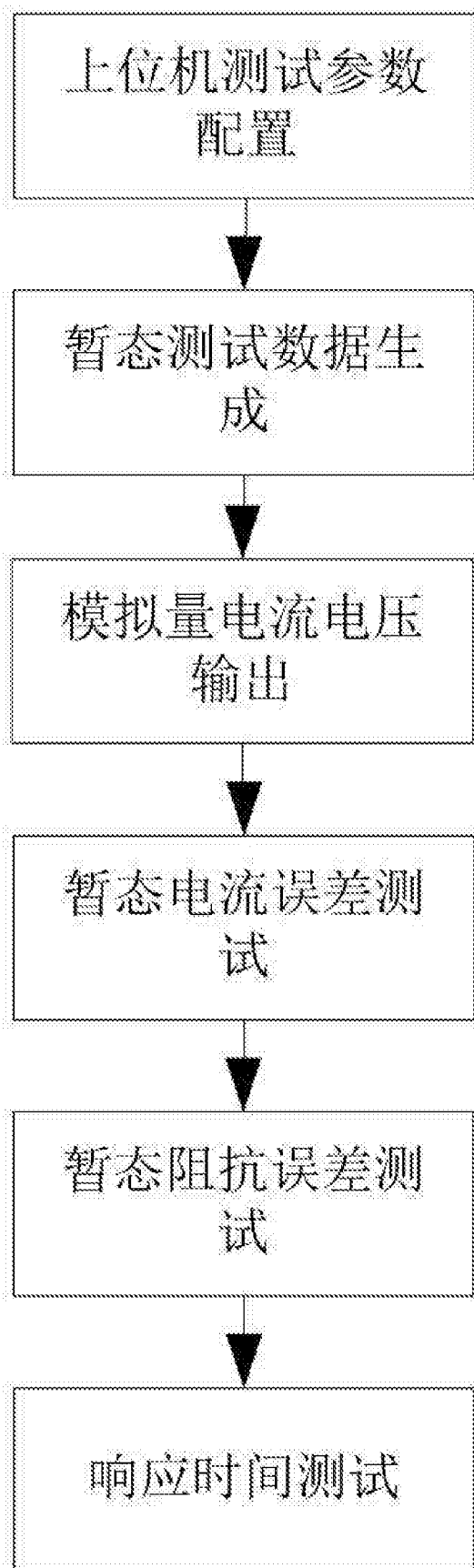


图 1

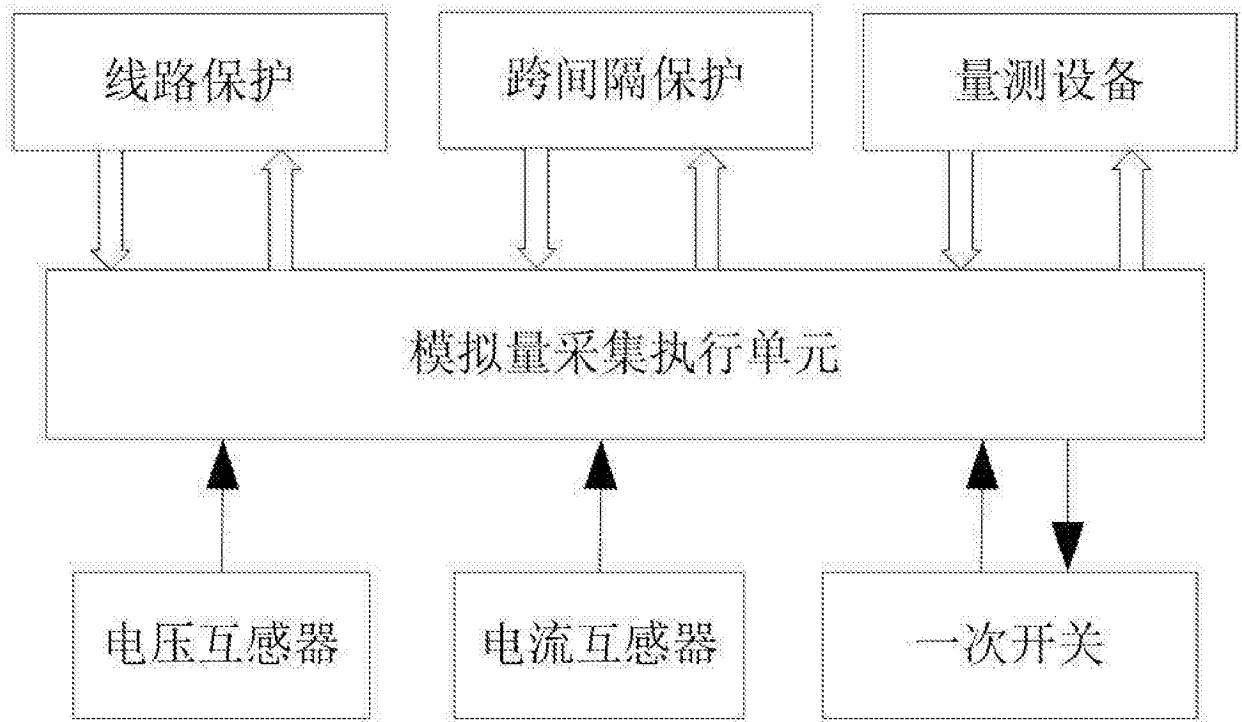


图 2

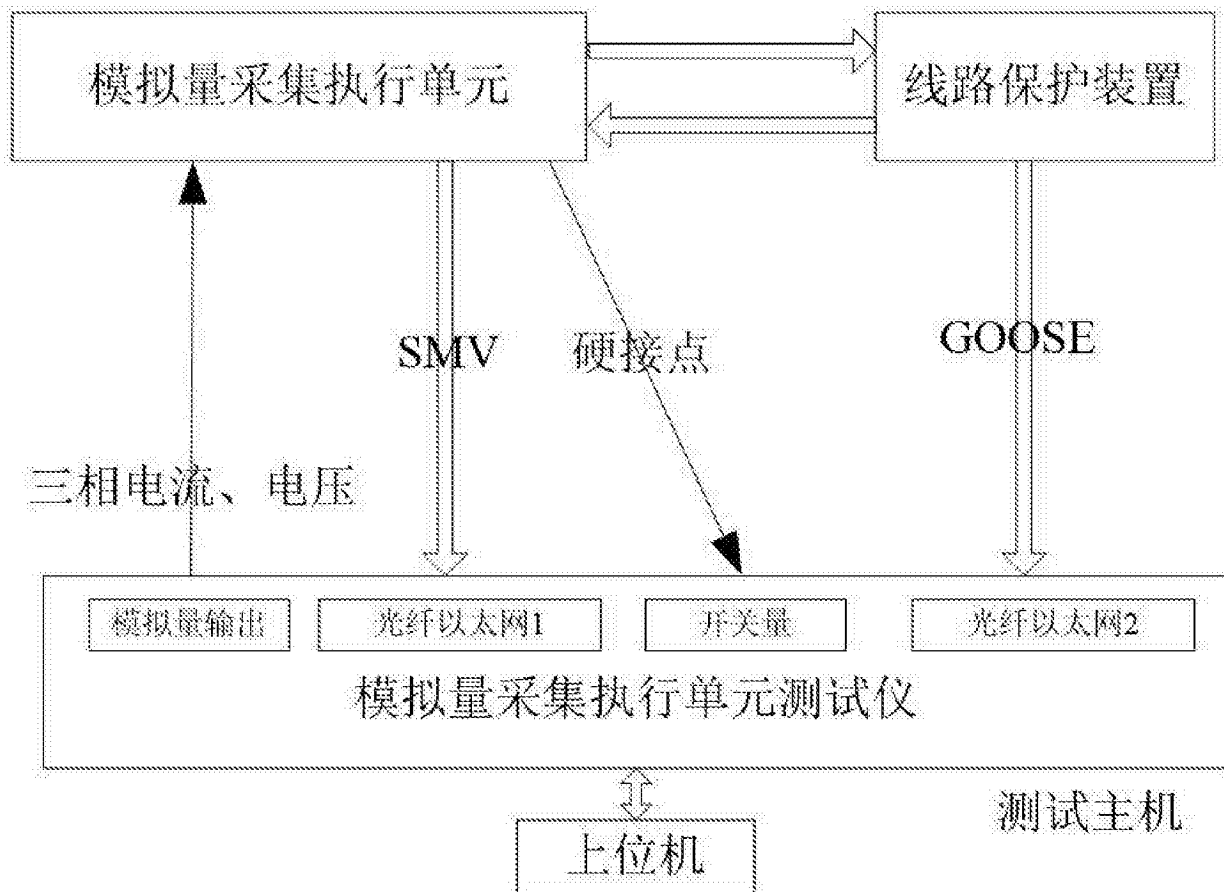


图 3

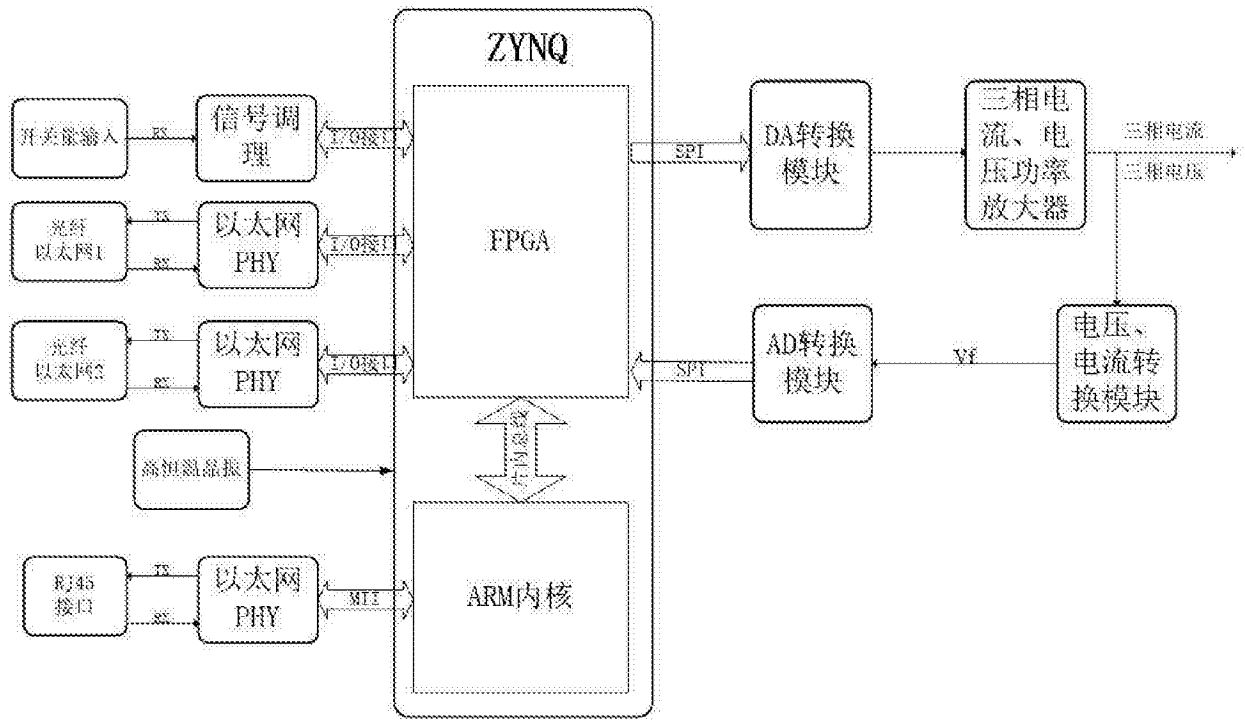


图 4