



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107968389 B

(45)授权公告日 2019.08.13

(21)申请号 201711438482.9

(22)申请日 2017.12.27

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107968389 A

(43)申请公布日 2018.04.27

(73)专利权人 国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院

地址 110006 辽宁省沈阳市和平区四平街39-7号

专利权人 沈阳工学院

辽宁东科电力有限公司
国家电网公司

(72)发明人 宋云东 赵义松 郭铁 赵春芳
韦德福 朱义东 鲁旭臣 周志强
张军阳 刘旸 陈浩 周榆晓

李爽 吴细毛 张强 苑经纬
康激杨 刘芮彤 张涛 赵丹
王南

(74)专利代理机构 辽宁沈阳国兴知识产权代理有限公司 21100

代理人 何学军

(51)Int.Cl.

H02H 9/00(2006.01)

H02H 9/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 108565832 A,2018.09.21,
CN 206640303 U,2017.11.14,
CN 107302216 A,2017.10.27,
CN 205544246 U,2016.08.31,

审查员 欧阳丽

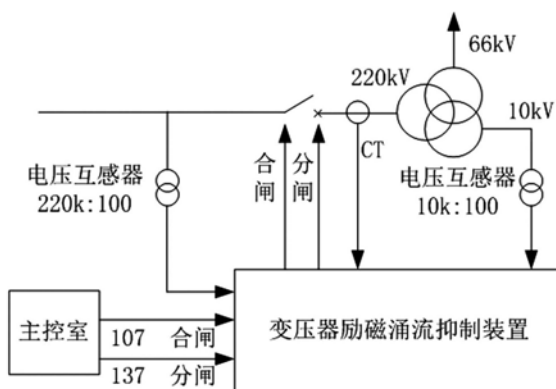
权利要求书3页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

一种基于剩磁估算的变压器励磁涌流抑制装置及抑制方法

(57)摘要

本发明涉及电力系统中的变压器励磁涌流抑制技术领域,尤其涉及基于剩磁估算的变压器励磁涌流抑制装置及抑制方法。基于变压器剩磁估算的基础上通过控制断路器合闸的时刻进行变压器空载投切实现励磁涌流的抑制。依靠变压器励磁涌流抑制装置,结合电力系统原有电压、电流互感器及变压器出口断路器实现,包括CPU处理模块板,AT板即TA/TV模块,MOSFET模块板,电源模块板及总线板。能精确估算铁心中的剩磁,计算优化的合闸时刻,依据断路器机械特性给断路器发送合闸信号,降低变压器空载合闸时的励磁涌流,减少励磁涌流对变压器的冲击,避免变压器差动保护动作,降低空载合闸带来的谐波,避免对周围直流换流站功率传输的影响。



1. 一种基于剩磁估算的变压器励磁涌流抑制装置,其特征是:主要依靠变压器励磁涌流抑制装置,结合电力系统原有的电压、电流互感器及变压器出口断路器实现,包括CPU处理模块板,AT板即TA/TV模块,MOSFET模块板,电源模块板及总线板;

所述CPU处理模块板主要负责提供系统总线和总控功能,处理合闸/分闸操作,测量断路器精确的合闸/分闸角度以及实现与上位机的通信;所述AT板用于对三相二次电流、电压进行同步测量;所述MOSFET模块板接收CPU发送过来的合闸/分闸命令,实现对外部断路器的控制;所述电源模块板则负责提供系统所需电源;所述CPU处理模块板选用STM32F103芯片,其内核为ARM,32位的Cortex-M3,最高72MHz工作频率,存储器从256K至512K字节的闪存程序存储器高达64K字节的SRAM,带4个片选的灵活的静态存储器控制器;支持CF卡、SRAM、PSRAM、NOR和NAND存储器,并行LCD接口,兼容8080/6800模式,具有时钟、复位和电源管理,内嵌8MHz的RC振荡器和带校准的40kHz的RC振荡器;多达112个快速I/O口,所有I/O口可以映像到16个外部中断并且除了模拟输入口以外的IO口可兼容5V信号输入,芯片整体性能完全满足项目需要;所述CPU处理模块板在抑制装置中主要完成由AD高速采集芯片送来的电流、电压测量数据,完成分/合闸相角的计算,通过计算方法控制分/合闸的时间,并且承担着外部键盘输入,液晶屏显示和通信功能任务;

所述TA/TV模块采用高速采集信号设计思路,利用CPU在接收分闸信号或发出合闸信号的同时,触发TA/TV模块对二次电压、电流信号进行采集,捕捉到变压器涌流的峰值和波形;CT测量范围在0~10A,PT测量范围0~100V;项目拟采用基于微控制器及基于PC和内插板卡的数据采集系统;数据采集卡和微控制器前端的高速A/D转换作为信号采集设备用来测量电压信号;电压、电流传感器经过前置放大器进行信号处理和滤波电路的变换后进入高速A/D数据采集卡,以实现MCU有效精确的测量。

2. 一种基于剩磁估算的变压器励磁涌流抑制装置的抑制方法,其特征是:包括以下步骤:

涌流抑制的总体方案,变压器涌流抑制装置在系统中的安装方法,采用变压器励磁涌流抑制装置结合变压器断路器的特点进行变压器励磁涌流抑制,变压器励磁涌流抑制装置具有变压器剩磁估算及结合剩磁估算结果优化断路器投切时刻的功能:

1) 变压器铁心剩磁估算;

利用电压互感器测量变压器开断时的电压向量,基于断路器上次开断时刻的电压测量值估算变压器铁心中的剩磁 B_r ;

2) 测量断路器机械特性;

测量断路器机械特性参数,获取断路器闭合时间;

3) 优化变压器空载合闸时刻;

基于变压器铁心剩磁,优化变压器空载合闸的时刻;

4) 给断路器发送合闸信号;

当收到变压器空载合闸的信号后,依据变压器优化的空载合闸时刻,基于断路器的机械特性,给断路器的合闸线圈发送合闸信号。

3. 根据权利要求2所述的一种基于剩磁估算的变压器励磁涌流抑制装置的抑制方法,其特征是:所述方法包括下位机和上位机组成,其中:下位机主控程序流程按照如下顺序进行周期执行:

a) 判断是否有操作按键按下,如果有则调用按键处理中断子程序,进入中断处理,中断完成后返回主程序继续执行;

b) 判断是否是设置状态,如果设置标志位置位,进入设置状态子程序后返回主控程序继续执行;

c) 判断是否有合闸命令,如果有合闸命令,则进入合闸处理中断子程序;完成合闸处理子程序后返回主控程序继续执行;

d) 判断是否有分闸命令,如果有分闸命令,则进入分闸处理中断子程序;完成分闸处理子程序后返回主控程序继续执行;

e) 判断网口是否有收到上位机的命令,如果有收到上位机命令,则进入上位机电文处理中断子程序,执行成功后,反馈主控程序继续执行;

f) 判断是否进入,AT板的变压器CT二次电流,判断分闸角,如果是则进入判断电流分闸角中断处理子程序,处理成功后返回主控程序继续执行;

g) 判断检查是否有录波指令,如果录波标志位置位,则进入录波处理中断子程序,处理完成后返回主控程序继续执行;

所述上位机利用Delphi程序编写,是基于可视化编程环境,提供了一种方便、快捷的Windows应用程序开发工具;它使用MicrosoftWindows图形用户界面的许多先进特性和设计,采用弹性可重复利用的完整的面向对象程序语言,能够提供友好的,易于操作的界面;上位机与涌流抑制装置进行数据通信,读取装置存储的电流、电压信号的波形,分析分合闸角度控制是否正确,完整的信号波形展示在操作界面,容易观察涌流抑制的效果,并且在上位机程序中设置分/合闸的角度参数,使操作人员进行远程控制。

4. 根据权利要求2所述的一种基于剩磁估算的变压器励磁涌流抑制装置的抑制方法,其特征是:所述剩磁估算包括:

(1) 利用电磁仿真程序进行空载变压器开断研究,研究断路器切空载变压器时由于截流引起的过电压及过电流;

(2) 基于上述过电流,研究变压器铁心磁滞回线特性,考虑截流过电流的磁滞回线特性;

(3) 基于上述磁滞回线的特性,结合变压器断开时刻估算铁心剩磁;

所述合闸时刻的计算是:

已知,铁心剩磁通为 Φ_r ,稳态磁通的最大值 Φ_m ,暂态磁通(偏磁) Φ_p ,铁心磁通为 Φ ,在合闸时刻,满足

$$\Phi = \Phi_m \sin(\omega t + \alpha) \pm \Phi_r + \Phi_p \quad (1);$$

$$\Phi_p = -\Phi_m \sin \alpha e^{\frac{R_1}{L_1} t} \quad (2);$$

$$\Phi = \Phi_m \sin(\omega t + \alpha) + (\pm \Phi_r - \Phi_m \sin \alpha) e^{\frac{R_1}{L_1} t} \quad (3);$$

上式中: ω 表示系统电源的频率, α 表示变压器的合闸角度, R_1 表示一次绕组的电阻, L_1 表示一次绕组的自感, $\frac{R_1}{L_1}$ 表示偏磁的衰减常数;

根据式(3)确定变压器的合闸时刻 t_1 ;

依据断路器的机械特性可知断路器的合闸时间为 Δt_i ,确定装置给断路器合闸线圈发

合闸信号的时间为 $t = t_1 - \Delta t_i$ 。

一种基于剩磁估算的变压器励磁涌流抑制装置及抑制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统中的变压器励磁涌流抑制技术领域,尤其涉及一种基于剩磁估算的变压器励磁涌流抑制装置及抑制方法。是基于变压器剩磁估算的基础上通过控制断路器合闸的时刻进行变压器空载投切实现励磁涌流的抑制。

背景技术

[0002] 电力变压器作为现代工业发展的重要设备,由铁磁材料构成的铁心部件是直接影
响变压器电气性能的最关键部分。具有封闭铁磁材料铁心结构的器件,不断投入运行再切
出运行的过程中,由于铁磁材料的磁滞特性,器件切出运行时,将在铁心中留有剩磁。当变
压器空载合闸或电压恢复时,往往造成断路器动作跳闸,致使电力变压器不能正常、及时投
运。

[0003] 差动保护作为变压器的主要保护,会对过高的电流,例如短路电流,进行速断保
护,以防止高电流使变压器绕组变形。在空载变压器合闸的瞬间,会随机产生一个很高的电
流,在一段时间内会返回正常范围。这个高电流并不是短路电流,但也足以使变压器差动保
护动作,导致变压器在启动的瞬间被保护断开从而无法启动。

[0004] 励磁涌流的大小与空载合闸的时间有关,其最大幅值会达到额定电流的,6-10,
倍,且其中含有大量二次三次谐波和直流分量。励磁涌流的高电流会在绕组中产生很大的
机械力使绕组变形,从而降低变压器抗短路能力和使用寿命。励磁涌流中的高次谐波,会增
大电磁损耗,造成变压器回流,并容易对电力系统敏感设备造成伤害。同时励磁涌流也会导
致母线电压周期性畸变,造成换流站直流换相失败,预测功能频繁调整逆变侧触发角,引起
直流功率波动。变压器并网过程中,励磁涌流除了对变压器自身造成的极大破坏,也会使电
力系统供电质量变差,非但不能将能源有效的并入电网,还会对电网本身造成极大拖累。

发明内容

[0005] 本发明针对上述现有技术中存在的问题,提供了一种基于剩磁估算的变压器励磁
涌流抑制装置及抑制方法。其目的是为了实
现变压器空载合闸励磁涌流抑制,可以有效降
低变压器空载合闸时的涌流,避免差动保护动作,避免引起与之相邻的直流换流站发生直
流功率振荡等故障。

[0006] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0007] 一种基于剩磁估算的变压器励磁涌流抑制装置,主要依靠变压器励磁涌流抑制装
置,结合电力系统原有的电压、电流互感器及变压器出口断路器实现,包括CPU处理模块板,
AT板即TA/TV模块,MOSFET模块板,电源模块板及总线板。

[0008] 所述CPU处理模块板主要负责提供系统总线和总控功能,处理合闸/分闸操作,测
量断路器精确的合闸/分闸角度以及实现与上位机的通信

[0009] 所述AT板用于对三相二次电流、电压进行同步测量。

[0010] 所述MOSFET模块板接收CPU发送过来的合闸/分闸命令,实现对外部断路器的控

制。

[0011] 所述电源模块板则负责提供系统所需电源,。

[0012] 所述CPU处理模块板选用STM32F103芯片,其内核为ARM,32位的Cortex-M3,最高72MHz工作频率,存储器从256K至512K字节的闪存程序存储器高达64K字节的SRAM,带4个片选的灵活的静态存储器控制器;支持CF卡、SRAM、PSRAM、NOR和NAND存储器,并行LCD接口,兼容8080/6800模式,具有时钟、复位和电源管理,内嵌8MHz的RC振荡器和带校准的40kHz的RC振荡器;多达112个快速I/O口,所有I/O口可以映像到16个外部中断并且除了模拟输入口以外的I/O口可兼容5V信号输入,芯片整体性能完全满足项目需要;所述CPU处理模块板在抑制装置中主要完成由AD高速采集芯片送来的电流、电压测量数据,完成分/合闸相角的计算,通过计算方法控制分/合闸的时间,并且承担着外部键盘输入,液晶屏显示和通信功能任务。

[0013] 所述TA/TV模块采用高速采集信号设计思路,利用CPU在接收分闸信号或发出合闸信号的同时,触发TA/TV模块对二次电压、电流信号进行采集,捕捉到变压器涌流的峰值和波形;CT测量范围在0~10A,PT测量范围0~100V;项目拟采用基于微控制器及基于PC和内插板卡的数据采集系统;数据采集卡和微控制器前端的高速A/D转换作为信号采集设备用来测量电压信号;电压、电流传感器经过前置放大器进行信号处理和滤波电路的变换后进入高速A/D数据采集卡,以实现MCU有效精确的测量。

[0014] 一种基于剩磁估算的变压器励磁涌流抑制装置的抑制方法,包括以下步骤:涌流抑制的总体方案,变压器涌流抑制装置在系统中的安装方法,采用变压器励磁涌流抑制装置结合变压器断路器的特点进行变压器励磁涌流抑制,变压器励磁涌流抑制装置具有变压器剩磁估算及结合剩磁估算结果优化断路器投切时刻的功能:

[0015] 1) 变压器铁心剩磁估算;

[0016] 利用电压互感器测量变压器开断时的电压向量,基于断路器上次开断时刻的电压测量值估算变压器铁心中的剩磁 B_r ;

[0017] 2) 测量断路器机械特性;

[0018] 测量断路器机械特性参数,获取断路器闭合时间;

[0019] 3) 优化变压器空载合闸时刻;

[0020] 基于变压器铁心剩磁,优化变压器空载合闸的时刻;

[0021] 4) 给断路器发送合闸信号;

[0022] 当收到变压器空载合闸的信号后,依据变压器优化的空载合闸时刻,基于断路器的机械特性,给断路器的合闸线圈发送合闸信号。

[0023] 所述方法包括下位机和上位机组成,其中:下位机主控程序流程按照如下顺序进行周期执行:

[0024] a) 判断是否有操作按键按下,如果有则调用按键处理中断子程序,进入中断处理,中断完成后返回主程序继续执行;

[0025] b) 判断是否是设置状态,如果设置标志位置位,进入设置状态子程序后返回主控程序继续执行;

[0026] c) 判断是否有合闸命令,如果有合闸命令,则进入合闸处理中断子程序;完成合闸处理子程序后返回主控程序继续执行;

[0027] d) 判断是否有分闸命令,如果有分闸命令,则进入分闸处理中断子程序;完成分闸处理子程序后返回主控程序继续执行;

[0028] e) 判断网口是否有收到上位机的命令,如果有收到上位机命令,则进入上位机电文处理中断子程序,执行成功后,反馈主控程序继续执行;

[0029] f) 判断是否进入,AT电流,判断分闸角,如果是则进入判断电流分闸角中断处理子程序,处理成功后返回主控程序继续执行;

[0030] g) 判断检查是否有录波指令,如果录波标志位置位,则进入录波处理中断子程序,处理完成后返回主控程序继续执行;

[0031] 所述上位机利用Delphi程序编写,是基于可视化编程环境,提供了一种方便、快捷的Windows应用程序开发工具;它使用MicrosoftWindows图形用户界面的许多先进特性和设计,采用弹性可重复利用的完整的面向对象程序语言,能够提供友好的,易于操作的界面;上位机与涌流抑制装置进行数据通信,读取装置存储的电流、电压信号的波形,分析分合闸角度控制是否正确,完整的信号波形展示在操作界面,容易观察涌流抑制的效果,并且在上位机程序中设置分/合闸的角度参数,使操作人员进行远程控制。

[0032] 所述剩磁估算包括:

[0033] (1) 利用电磁仿真程序进行空载变压器开断研究,研究断路器切空载变压器时由于截流引起的过电压及过电流;

[0034] (2) 基于上述计算的过电流,研究变压器铁心磁滞回线特性,考虑截流过电流的磁滞回线特性;

[0035] (3) 基于上述磁滞回线的特性,结合变压器断开时刻估算铁心剩磁;

[0036] 所述合闸时刻的计算是:

[0037] 已知,铁心剩磁通为 Φ_r ,稳态磁通的最大值 Φ_m ,暂态磁通(偏磁) Φ_p ,铁心磁通为 Φ ,在合闸时刻,满足

$$[0038] \quad \Phi = \Phi_m \sin(\omega t + \alpha) \pm \Phi_r + \Phi_p \quad (1);$$

$$[0039] \quad \Phi_p = -\Phi_m \sin \alpha e^{\frac{R_1}{L_1} t} \quad (2);$$

$$[0040] \quad \Phi = \Phi_m \sin(\omega t + \alpha) + (\pm \Phi_r - \Phi_m \sin \alpha) e^{\frac{R_1}{L_1} t} \quad (3);$$

[0041] 上式中: ω 表示系统电源的频率, α 表示变压器的合闸角度, R_1 表示一次绕组的电阻, L_1 表示一次绕组的自感, $\frac{R_1}{L_1}$ 表示偏磁的衰减常数;

[0042] 根据式(3)确定变压器的合闸时刻 t_1 ;

[0043] 依据断路器的机械特性可知断路器的合闸时间为 Δt_i ,确定装置给断路器合闸线圈发合闸信号的时间为 $t = t_1 - \Delta t_i$ 。

[0044] 本发明具有如下优点及有益效果:

[0045] 变压器涌流抑制装置能较精确的估算铁心中的剩磁,并根据剩磁估算结果计算出优化的合闸时刻,能依据断路器的机械特性给断路器发送合闸信号,从而有效的降低变压器空载合闸时的励磁涌流,可以减少励磁涌流对变压器的冲击,避免变压器差动保护的动作,降低空载合闸带来的谐波,从而避免对周围直流换流站功率传输的影响。

[0046] 下面结合附图和具体实施例,对本发明作进一步详细的说明,但不受本实施例所

限。

附图说明

- [0047] 图1是本发明变压器涌流抑制装置在系统中的安装方法；
- [0048] 图2是本发明变压器涌流抑制装置总体方案框图；
- [0049] 图3是本发明变压器涌流抑制装置中CPU处理模块板外围接口电路框图；
- [0050] 图4是本发明中高速信号采集电路设计框图；
- [0051] 图5是本发明主控程序流程图；
- [0052] 图6是本发明典型的截流过电流图；
- [0053] 图7是本发明中考虑截流过电流的磁滞回线特性图。

具体实施方式

[0054] 本发明是一种基于剩磁估算的变压器励磁涌流抑制装置及抑制方法,主要依靠变压器励磁涌流抑制装置,结合电力系统原有的电压、电流互感器及变压器出口断路器实现,下面详细介绍。

[0055] 一种基于剩磁估算的变压器励磁涌流抑制装置,其总体方案设计如图2所示,装置整体采用模块化设计,提出高效、安全、经济的解决方案,同时方便设备的后期维护。装置设计为五块模块板,包括,CPU处理模块板,AT板即TA/TV模块,MOSFET模块板,电源模块板及总线板。

[0056] 本发明变压器涌流抑制装置在系统中的安装方法如图1所示。

[0057] 所述CPU处理模块板主要负责提供系统总线和总控功能,处理合闸/分闸操作,测量断路器精确的合闸/分闸角度以及实现与上位机的通信。AT板用于对三相二次电流、电压进行同步测量。MOSFET模块板可以接收CPU发送过来的合闸/分闸命令,实现对外部断路器的控制,而电源模块板则负责提供系统所需电源。

[0058] 所述CPU处理模块板选用STM32F103芯片,其内核为ARM,32位的Cortex-M3,最高72MHz工作频率,存储器从256K至512K字节的闪存程序存储器高达64K字节的SRAM,带4个片选的灵活的静态存储器控制器。支持CF卡、SRAM、PSRAM、NOR和NAND存储器,并行LCD接口,兼容8080/6800模式,具有时钟、复位和电源管理,内嵌8MHz的RC振荡器和带校准的40kHz的RC振荡器。多达112个快速I/O口,所有I/O口可以映像到16个外部中断并且除了模拟输入口以外的I/O口可兼容5V信号输入,芯片整体性能完全满足项目需要。

[0059] 所述CPU处理模块板在抑制装置中所担当的任务较多,主要完成由AD高速采集芯片送来的电流、电压测量数据,完成分/合闸相角的计算,通过计算方法控制分/合闸的时间,并且承担着外部键盘输入,液晶屏显示和通信功能等任务,CPU处理模块板外围接口设计如图3所示。

[0060] 所述TA/TV模块:TA/TV模块采用高速采集信号设计思路,利用CPU在接收分闸信号或发出合闸信号的同时,触发TA/TV模块对二次电压、电流信号进行采集,捕捉到变压器涌流的峰值和波形。

[0061] CT测量范围在0~10A,PT测量范围0~100V。项目拟采用基于微控制器及基于PC和内插板卡的数据采集系统。数据采集卡和微控制器前端的高速A/D转换作为信号采集设备

用来测量电压信号。电压、电流传感器经过前置放大器进行信号处理和滤波电路的变换后进入高速A/D数据采集卡,以实现MCU有效精确的测量。如图4所示,图4,是本发明中高速信号采集电路设计框图。

[0062] 一种基于剩磁估算的变压器励磁涌流抑制方法,包括以下步骤:

[0063] 涌流抑制的总体方案,变压器涌流抑制装置在系统中的安装方法。采用变压器励磁涌流抑制装置结合变压器断路器的特点进行变压器励磁涌流抑制,变压器励磁涌流抑制装置具有变压器剩磁估算及结合剩磁估算结果优化断路器投切时刻的功能。

[0064] 1) 变压器铁心剩磁估算;

[0065] 利用电压互感器测量变压器开断时的电压向量,基于断路器上次开断时刻的电压测量值估算变压器铁心中的剩磁 B_r 。

[0066] 2) 测量断路器机械特性;

[0067] 测量断路器机械特性参数,获取断路器闭合时间。

[0068] 3) 优化变压器空载合闸时刻;

[0069] 基于变压器铁心剩磁,优化变压器空载合闸的时刻。

[0070] 4) 给断路器发送合闸信号;

[0071] 当收到变压器空载合闸的信号后,依据变压器优化的空载合闸时刻,基于断路器的机械特性,给断路器的合闸线圈发送合闸信号。

[0072] 本发明一种基于剩磁估算的变压器励磁涌流抑制方法,包括下位机和上位机组成,其中:

[0073] 所述下位机主控程序流程按照如下顺序进行周期执行,具体如图5所示。

[0074] a) 判断是否有操作按键按下,如果有则调用按键处理中断子程序,进入中断处理,中断完成后返回主程序继续执行。

[0075] b) 判断是否是设置状态,如果设置标志位置位,进入设置状态子程序后返回主控程序继续执行。

[0076] c) 判断是否有合闸命令,如果有合闸命令,则进入合闸处理中断子程序。完成合闸处理子程序后返回主控程序继续执行。

[0077] d) 判断是否有分闸命令,如果有分闸命令,则进入分闸处理中断子程序。完成分闸处理子程序后返回主控程序继续执行。

[0078] e) 判断网口是否有收到上位机的命令,如果有收到上位机命令,则进入上位机电文处理中断子程序,执行成功后,反馈主控程序继续执行。

[0079] f) 判断是否进入,AT电流,判断分闸角,如果是则进入判断电流分闸角中断处理子程序,处理成功后返回主控程序继续执行。

[0080] g) 判断检查是否有录波指令,如果录波标志位置位,则进入录波处理中断子程序,处理完成后返回主控程序继续执行。

[0081] 所述上位机利用Delphi程序编写,是基于可视化编程环境,提供了一种方便、快捷的Windows应用程序开发工具。它使用了MicrosoftWindows图形用户界面的许多先进特性和设计思想,采用了弹性可重复利用的完整的面向对象程序语言,能够提供友好的,易于操作的界面。上位机与涌流抑制装置进行数据通信,可以读取装置存储的电流、电压信号的波形,可以方便的分析分合闸角度控制是否正确,完整的信号波形展示在操作界面,容易观察

涌流抑制的效果,并且在上位机程序中可以设置分/合闸的角度等参数,能够使操作人员进行远程控制。

[0082] 本发明所述剩磁估算包括:

[0083] (1) 利用电磁仿真程序进行空载变压器开断研究,研究断路器切空载变压器时由于截流引起的过电压及过电流,典型的过电流如图6所示,图6是本发明典型的截流过电流图。

[0084] (2) 基于上述计算的过电流,研究变压器铁心磁滞回线特性,考虑截流过电流的磁滞回线特性如图7所示,图7,是本发明考虑截流过电流的磁滞回线特性图。

[0085] (3) 基于上述磁滞回线的特性,结合变压器断开时刻估算铁心剩磁。

[0086] 本发明所述合闸时刻的计算是:

[0087] 已知,铁心剩磁通为 Φ_r ,稳态磁通的最大值 Φ_m ,暂态磁通(偏磁) Φ_p ,铁心磁通为 Φ ,在合闸时刻,满足

$$[0088] \quad \Phi = \Phi_m \sin(\omega t + \alpha) \pm \Phi_r + \Phi_p \quad (1);$$

$$[0089] \quad \Phi_p = -\Phi_m \sin \alpha e^{\frac{R_1}{L_1} t} \quad (2);$$

$$[0090] \quad \Phi = \Phi_m \sin(\omega t + \alpha) + (\pm \Phi_r - \Phi_m \sin \alpha) e^{\frac{R_1}{L_1} t} \quad (3);$$

[0091] 上式中: ω 表示系统电源的频率, α 表示变压器的合闸角度, R_1 表示一次绕组的电阻, L_1 表示一次绕组的自感, $\frac{R_1}{L_1}$ 表示偏磁的衰减常数。

[0092] 根据式(3)确定变压器的合闸时刻 t_1 。

[0093] 依据断路器的机械特性可知断路器的合闸时间为 Δt_i ,确定装置给断路器合闸线圈发合闸信号的时间为 $t = t_1 - \Delta t_i$ 。

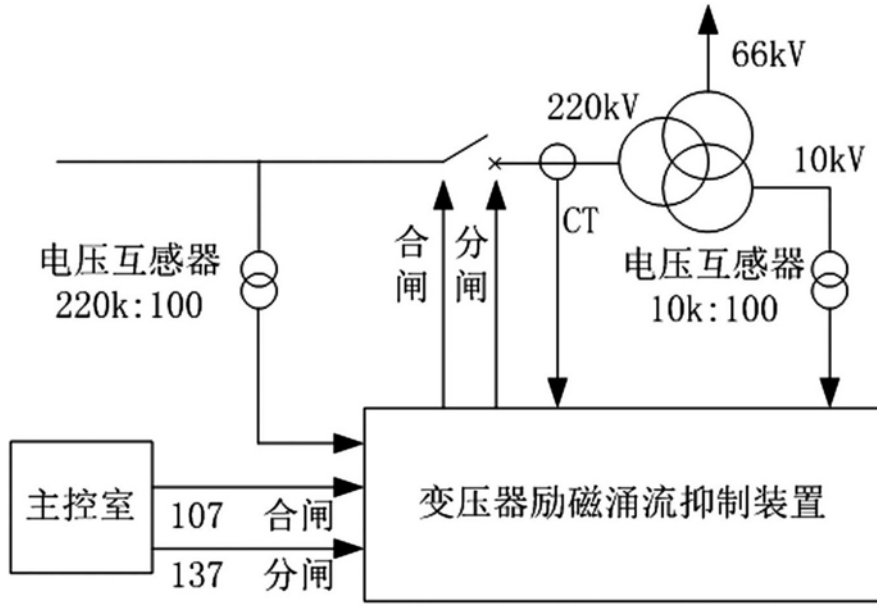


图1

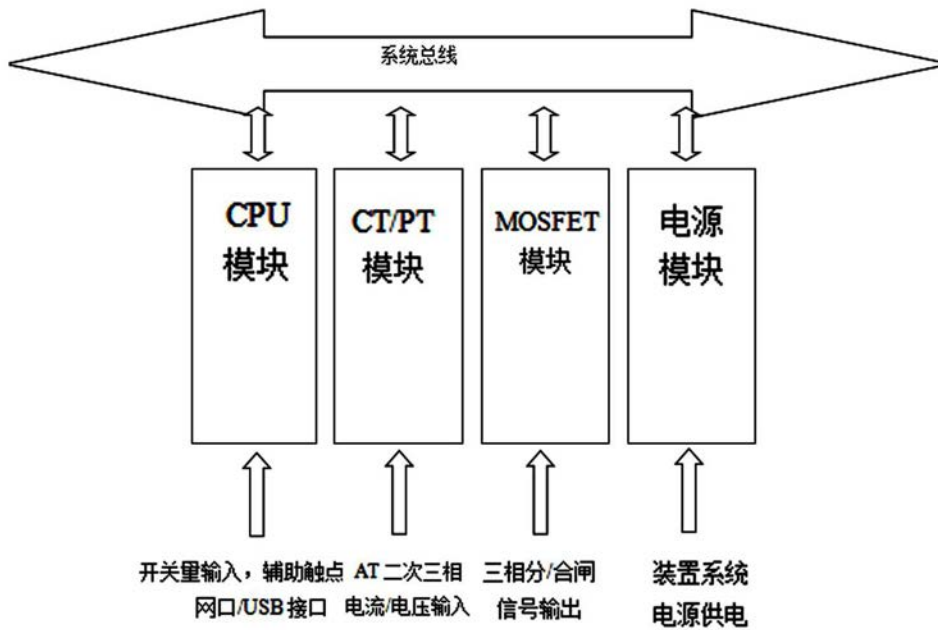


图2

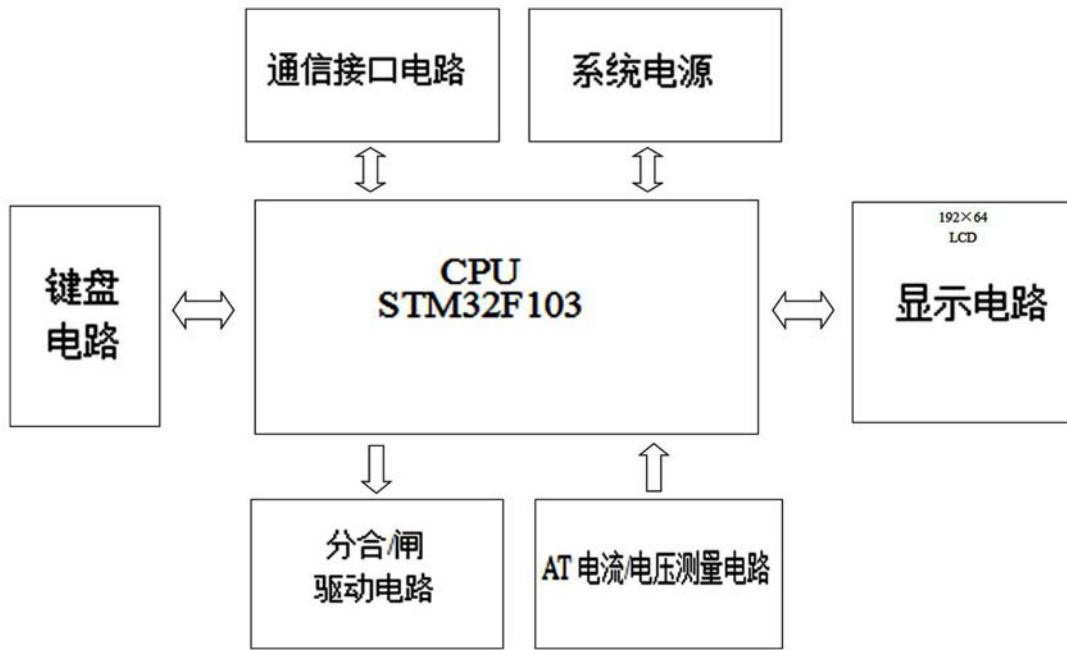


图3

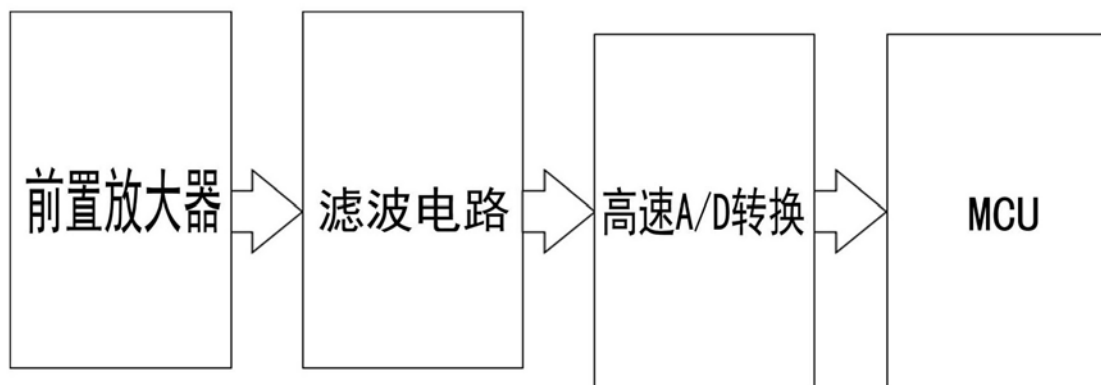


图4

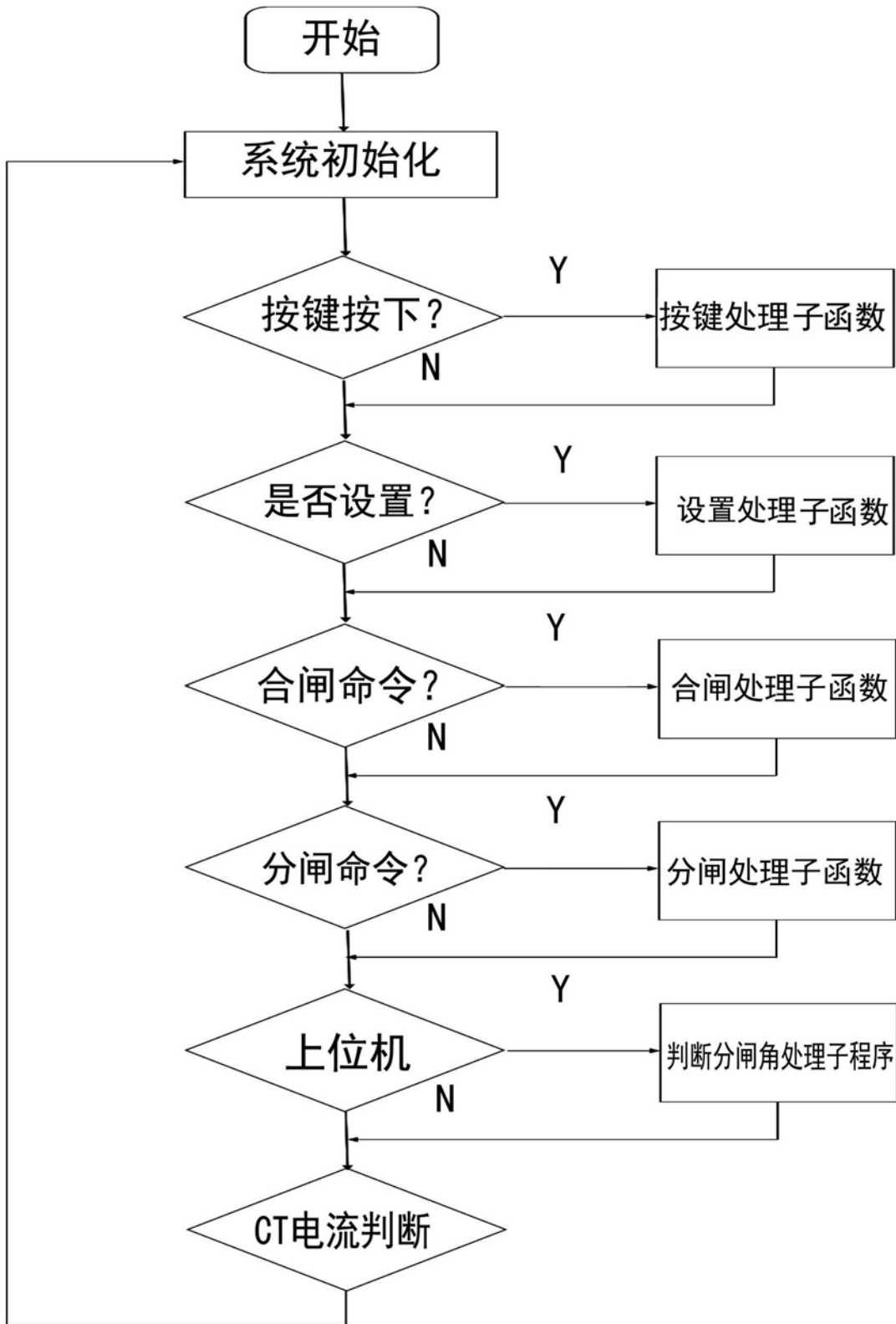


图5

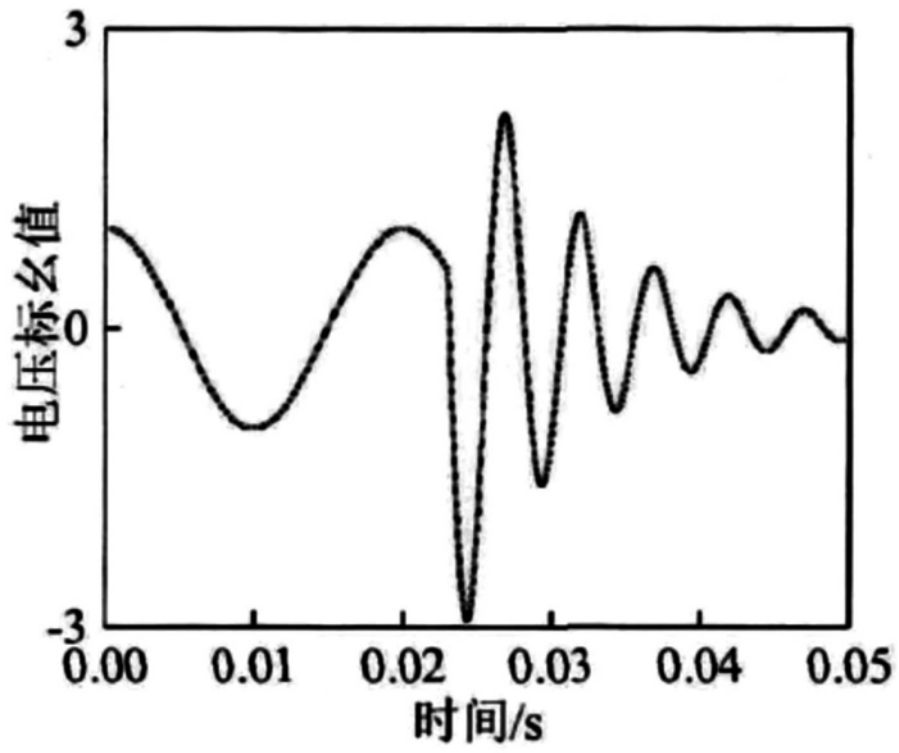


图6

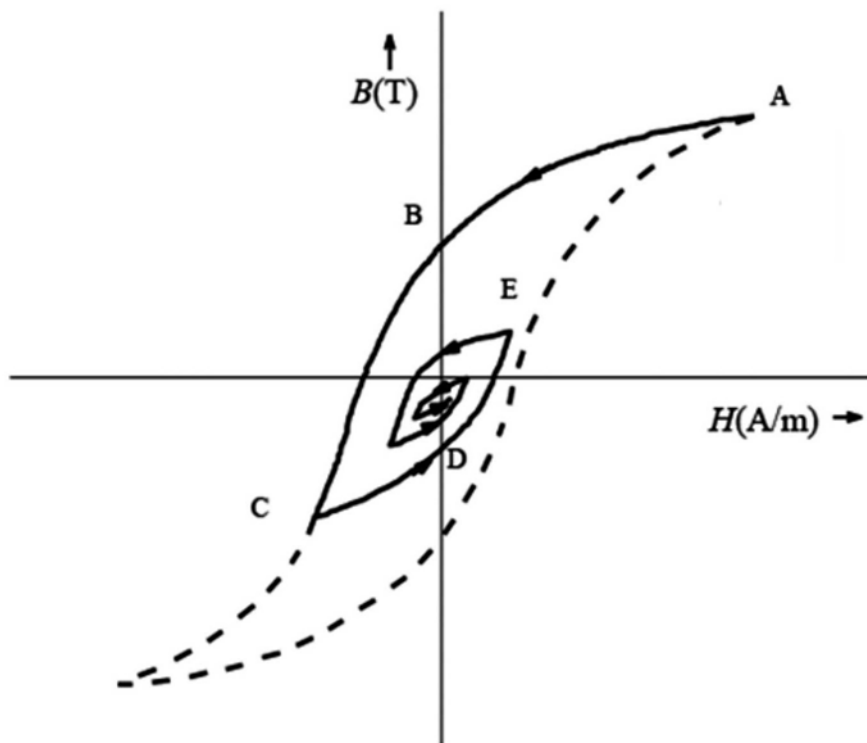


图7