

基于 ARM 的通用型励磁控制器设计

王玉同 邵天章 谷志峰

(军械工程学院 石家庄 050003)

摘要:针对移动电站电源制式的多样化,设计了一种以 STM32F103ZET 为控制核心的同步电机通用型励磁控制系统,设计了低剩磁电压起励电路,满足了不同剩磁条件下的起励要求;针对独立电力系统的电压、频率波动较大造成采集精度下降的问题,引入了锁相环电路,实现了同步采样,提高了采样精度;采用参数自整定模糊 PID 的控制策略,通过 IGBT 功率器件进行励磁电压的 PWM 调节。实验结果表明,可以满足通用化的要求,具有较好的动、静态性能,调节速度快,完全符合规定的性能指标。

关键词:移动电站;ARM;通用型;锁相环;励磁控制

中图分类号: TM341 TN911.8 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.40

Design of general excitation controller based on ARM

Wang Yutong Shao Tianzhang Gu Zhifeng

(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: According to the diversity of mobile power supply system, an general type excitation control system of synchronous generator by using STM32F103ZET as the control center is designed, the design of low remanence voltage exciting circuit, adapt to the different conditions of the excitation requirements of remanence; For the independent power system, the voltage and frequency fluctuation caused by the falling of the acquisition accuracy, the PLL circuit is introduced to realize the synchronous sampling, which can improve the accuracy of the acquisition; Using the control strategy of fuzzy PID based on parameter self-tuning. The excitation voltage was controlled by power IGBT device. The experimental result indicated that it meets the requirements of equipment universal, and it has better dynamic, static performance, fast regulating speed, fully meet the requirements of the performance index.

Keywords: mobile power; ARM; general; PLL; excitation control

1 引言

移动电站与输电线、各类用电装备及控制系统等可构成一类容量有限的独立电力系统。该电力系统的电源制式可以分为 50 Hz、400 Hz、115 V、230 V、380 V 等^[1],而励磁控制器是保证电源可靠稳定供给的核心部件。目前,移动电站励磁控制器的种类多样,且大多数为模拟电路,控制功能比较单一,互不通用,在工作条件下,可靠性和更换性差。为了适应灵活机动的用电模式,开发适应不同电压、频率制式的通用型励磁控制器具有重要的经济意义和实用价值。

基于传统单片机的新型实用可控硅数字触发电路,克服了模拟集成电路的缺点,但 16 位单片机的处理速度

及计算精度都需要进一步提高;基于 DSP 的励磁控制系统设计,相比 DSP,ARM 芯片功耗低,片上外设比较丰富,接口多种多样,在控制方面 ARM 具有比较显著的优势^[2-6];应用 Cortex-M0 设计的励磁数字触发系统,控制能力得到明显提升,但没有考虑电力系统频率波动较大时,采集数据存在较大误差的问题^[7];后来提出高性能的数字式励磁控制器的设计方案,硬件采用 MCU 建立高性能的硬件平台,采用了同步交流采样的算法,为高性能励磁控制提供了精确的参数,但在控制策略上还需要较大的改进^[8]。在阅读大量文献,总结各类设计的优缺点后,针对移动电站其特殊的应用背景,提出了通用型励磁控制器的设计方法,设计了 PTC 热敏电阻的低剩磁电压起励电路,改进了传统互不通用的励磁调节装置。针对独立电

力系统的频率波动更频繁,采用了锁相环测频,并采用了一种多点递推的计算方式,提高了采样精度及计算的准确性。

2 励磁控制器的硬件电路设计

数字式励磁控制器的总体方案设计,如图1所示。

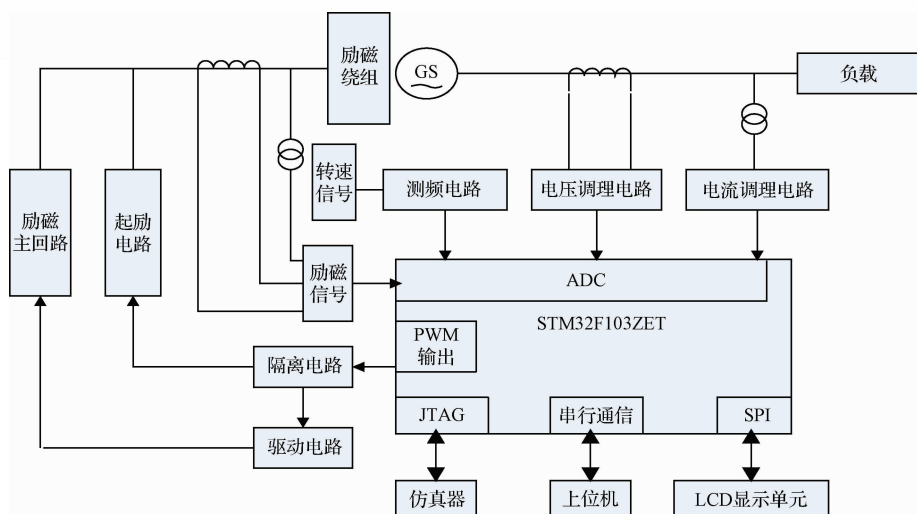


图1 数字式励磁控制器总体方案设计

硬件部分采用STM32F103ZET芯片对发电机的端电压、端电流等电气信号进行采集测量并且可以实时在线显示。主要的工作过程:模拟信号采集电路把采集到的端电压、电流及励磁电压、电流信号送到STM32F103ZET中ADC通道中,单片机将模拟信号转化为数字信号,根据预先设计好的控制规律完成计算,输出PWM脉冲信号,通过励磁主电路输出励磁信号,来控制与调整发电机端电压^[9]。

2.1 励磁系统主回路设计

目前移动电站常用励磁系统是直接将发电机输出端作为励磁电源,通过整流装置直接控制发电机的励磁^[10]。这种方式接线比较简单,具有较高的可靠性。多数励磁系统主回路的整流都是三相桥式整流,但本设计为通用型励磁控制器,既可以用于三相又可以用于单相发电机,因此励磁电源只能由单相接入。其电路如图2所示,将同步发电机的某一相电压用桥式整流电路整流为直流,然后用 $470\mu\text{F}/600\text{V}$ 的大电容滤波成平滑的直流电压,用大电容一是可以使输出的电流更平滑,二是可以在强励时提供足够的电流。图2中D4/BY329是一种高耐压快速续流管二极管,耐压高达1500V,可通过峰值为11A的电流,瞬时可通过75A的电流,反应时间小于200ns。电容C1和电阻R1组成滤波电路,可以减小谐波和杂波对励磁线圈的影响。

2.2 低压起励电路

在额定转速时,不同型号电机的剩磁电压不同,有的在剩磁电压高达几十伏,有的却只有3~4V,在剩磁电压较低的情况下,正常的调压电路不能工作。而本文设计的励磁控制器为通用型,因此必须可以满足不同剩磁条件下的起励要求,通过对不同起励电路的分析比较,设计采用

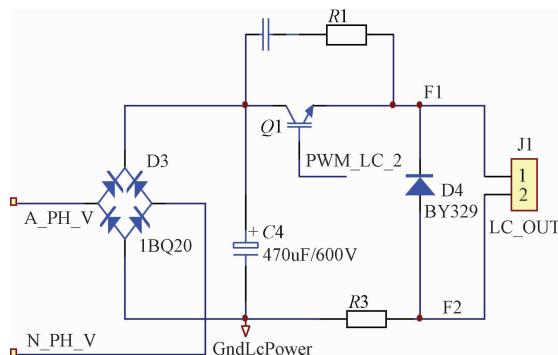


图2 励磁系统主回路

PTC热敏电阻的方式解决剩磁起励问题,剩磁电压在2V以上即可顺利完成起励。起励电路结构如图3所示。

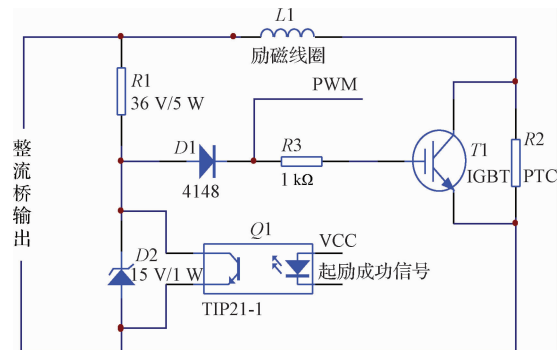


图3 起励电路

初始状态时PTC热敏电阻是完全导通的,此时剩磁电压经过整流后全部加在励磁线圈上。电路的导通使得PTC热敏电阻发热到一定程度时,电阻值瞬间增大,近似为截至状态,如果此时还没有起励成功(即:Q1的引脚未

收到起励成功的信号),则由 R1 和 D2 构成的分压电路使 IGBT 的基极电压保持在 15 V 左右,控制 IGBT 导通,这时端电压仍是完全加到励磁线圈上。当端电压超过 80 V 时,STM32F103ZET 芯片开始工作,发出起励成功的信号使 Q1 的引脚置低,光耦导通,稳压二极管被短路,起励电路停止工作,起励完成。

2.3 电压电流采集电路

根据采集信号的特征,电压、电流互感器分别选择为 TV1005-1M 精密电流型电压互感器和 TA0913-1M 精密电流型互感器。该类产品具有体积小、精密度高、隔离能力强等优点,非常适合用于此电路的设计。图 4 所示为单相电压电流采集电路,以图 4(a)电压采集电路为例,TV1005-1M 是电流型互感器,额定的输入输出为 2 mA/2 mA。首先把互感器一次侧电压信号转换成电流信号,之后通过次级电路把电流信号转换成合适的电压信号。互感器一次侧额定电流为 2 mA,取电阻 R3 的值为 240 k Ω ,此时可测量的最高电压为 480 V,符合实验要求。

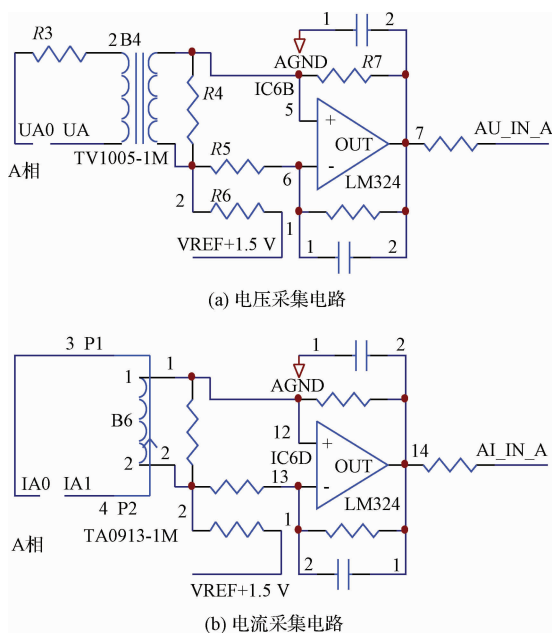


图4 电压电流信号采集电路

2.4 锁相环测频电路

针对独立电力系统一些大型动态负载,在启动过程中会造成系统的频率波动使得采样精度下降,针对此问题引入锁相环电路,实现了同步采样,提高了采样精度。图5所示为锁相环电路原理,经过锁相环测频电路后的脉冲信号为输入电压 U 的 16 倍,当 U 的频率发生波动时,锁相环电路的输出信号能始终保持其频率为 U 频率的 16 倍,在一个周期内都能均匀地采集 16 个点作为采样时刻。

在交流采样的过程中,经硬件锁相环测频电路后,输出为系统频率的 N 倍频的方波信号,对该方波的每个上升沿进行捕获,启动 ADC,完成一次 ADC 转换,在第一个

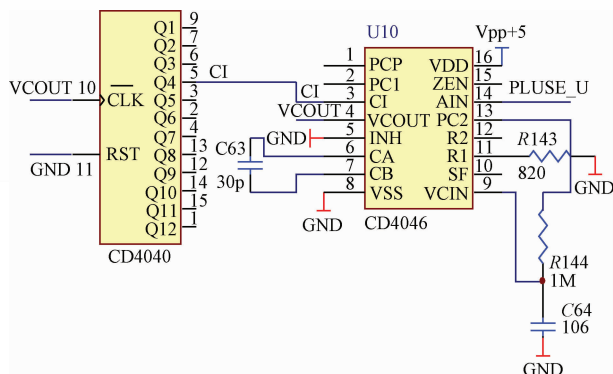


图5 锁相环电路

周期内捕获 16 个上升沿,可以采集到 16 个数据点,然后响应中断程序对第一个周期内所采集到的电压、电流信号进行 16 点的均方根计算,在对下一个周波的第一个上升沿进行捕获和 A/D 转换后,利用这个采样数据与上个周波的后 15 个数据重新构成一组新的 16 点数据,进行均方根计算,以此类推。使用该方法使系统的实时性有了很大的提高,更好的适应独立电力系统的运行特性,有效改善了计算的准确性。

3 软件系统总体方案设计

数字式励磁控制器软件设计是励磁控制系统的核心,软件编写的质量好坏直接影响励磁控制器的控制效果,包括控制的实时性,抗干扰及准确性等因素。励磁控制器的软件采用模块化程序设计,主要有:1)数据采集模块,测量电路得到的数据是模拟信号,而 STM32F103ZET 芯片内部储存和计算的数据为数字信号,设置合适的采样频率,对模拟信号进行 A/D 转换;2)数据处理模块,利用采集的波形进行计算得到相关的电参量,如端电压 U 、电流 I 及励磁电压 E_f 等,这是软件设计的重要组成部分;3)参数自整定模糊 PID 控制模块,根据参数自整定模糊 PID 控制规律得到控制信号,产生宽度可调的 PWM 脉冲信号来触发 IGBT,实现对励磁信号的调节;此外,还有串口通信模块、LCD 显示模块等,用来完成对发电机运行状态的实时监视和控制。

该励磁控制系统的软件可以分为主程序和中断服务程序两部分,其工作流程如图 6 所示。

为实现较好的控制精度,必须采用一种好的控制算法,采用了参数自整定模糊 PID 控制算法。常规的 PID 控制器不能根据环境变化自整定参数,并且对于非线性、时变的复杂系统和模型不清楚的系统不能进行很好的控制。而简单的模糊控制器由于不具有积分环节,因而在模糊制的系统又很难完全消除静态误差,而且在变量分级不够多的情况下,常常在平衡点附近会有小的振荡现象。但是模糊控制器对复杂的和模型不清楚的系统却能进行简单而有效的控制,所以想到如果把这两种控制方法结合起来,就可以构成兼有两者优点的模糊 PID 控制器,利于模糊推

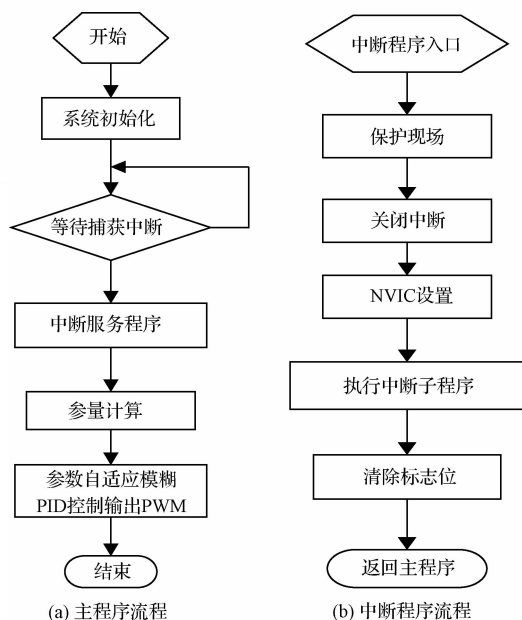


图6 软件程序流程

理判断的思想,根据不同的 E (偏差量), EC (偏差变化量)对PID的参数 K_p, K_i, K_d 的3个参数进行在线自整定,这就组成了参数自整定模糊PID控制器。其结构如图7所示,它可以在实时控制中自动在线调整PID控制器的3个参数,使参数自整定模糊PID控制器运行在较优的工作状态。

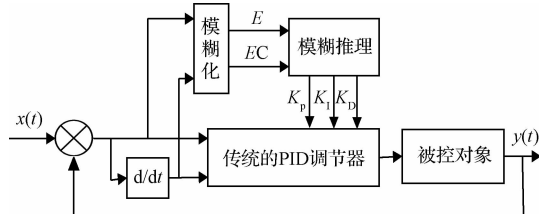


图7 参数自整定模糊PID控制器

4 试验结果及结论

本次实验选用了20 kW的谐波同步发电机,本文做了发电机的启动试验以及突加50%负载后突然卸载的实验,并通过和传统PID控制比较得出参数自整定模糊PID控制的优越性,从图8中可以看出,参数自整定模糊PID控制在突加突减负载时,能更好、更快的恢复稳定水平。为方便观察比较,对图8、9中的数据进行处理,以A相电压为例,电机由空载突加50%负载和带载50%突然卸载的电压指标变化情况如表1和2所示。

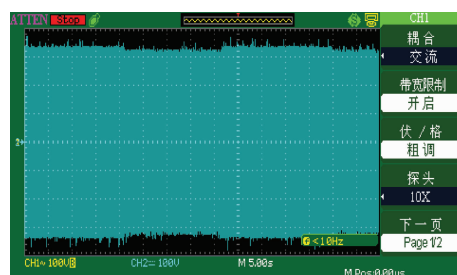


图8 自整定模糊PID控制电压波形

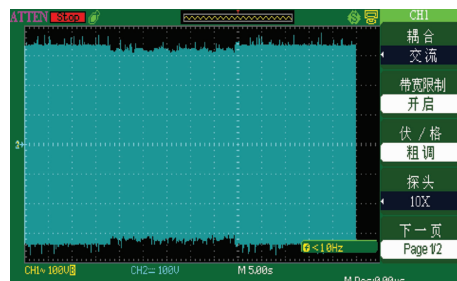


图9 传统PID励磁控制电压波形

由图9可以看出,在负载稳定时,模糊PID励磁控制能保持输出电压稳定;在负载发生变化时,通过表1和2

表1 空载时突加50%负载指标比较

PID控制	U_A/V	稳态调整率/%	瞬态调整率/%	电压波动率/%	调整时间/s
U_{\max} (稳态)	236.06	2.14	2.63	0.49	0.52
U_{\min} (稳态)	233.78				
参数自整定模糊PID控制	U_A/V	稳态调整率/%	瞬态调整率/%	电压波动率/%	调整时间/s
U_{\max} (稳态)	234.98	2.01	2.17	0.15	0.41
U_{\min} (稳态)	234.26				

表2 卸载50%负载指标比较

PID控制	U_A/V	稳态调整率/%	瞬态调整率/%	电压波动率/%	调整时间/s
U_{\max} (稳态)	237.25	2.58	3.15	0.56	0.50
U_{\min} (稳态)	234.61				
参数自整定模糊PID控制	U_A/V	稳态调整率/%	瞬态调整率/%	电压波动率/%	调整时间/s
U_{\max} (稳态)	236.23	2.51	2.71	0.19	0.45
U_{\min} (稳态)	235.33				

(下转第106页)