

基于反时限特性的控制与保护开关电器的设计

陈菲力, 郑 梁

(杭州电子科技大学 电子信息学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 根据国标GB14048.9要求,控制与保护开关电器应具备过载延时反时限动作特性、电源故障指示、短路保护、漏电保护、缺相保护、漏电保护等功能。为替代传统的热磁脱扣电器,提出了一种基于单片机反时限算法的控制与保护开关电器,该系统由DC-DC模块、模拟采样电路、运算放大电路和脱扣电路构成,采用硬件校准方式进行电流校准,并实现了三相电流检测和漏电检测;提出了继电器脱扣和分励脱扣两种方式;同时开展了反时限算法的分析,建立了过载反时限算法与控制及保护开关电器的关系,提出了一种离散化的过载反时限特性算法,最后,进行了过载反时限特性试验,就不同电气环境下的反时限特性做了详细的测量与论证。研究表明,该研究为进一步进行控制与保护开关电器的优化工作奠定了基础。

关键词: 控制与保护开关电器;反时限特性;电流校准;三相电流;漏电;检测

中图分类号: TP274;TH39;TM56

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)04-0447-03

Design of control and protective switching devices based on inverse time characteristic

CHEN Fei-li, ZHENG Liang

(College of Electronic Information, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: According to the GB14048.9, control and protective switching devices (CPS) must have the functions of inverse time characteristics, power failure indication, short protection, electric leakage protection and phase short protection. In order to replace the traditional thermal magnetic release device, a method for a type of control and protective switching devices based on inverse time algorithm with microcontroller was presented. The system was consisted with DC-DC circuit, analog sampling circuit, operational amplifier circuit and tripping circuit. The hardware mode was used to calibrate current, and the detection of three-phase current and leakage current was realized. The two release action modes were proposed, including relay-trip and shunt-trip. After the analysis of inverse time algorithm, the relationship between inverse time over-current algorithm and control and protective switching devices was established. A method was presented to discrete the inverse time over-current algorithm. The inverse time over-current characteristic was tested, and the detail measurement and demonstration of inverse time characteristics in different electrical environment were done. The experimental results show that the analysis lays the foundation for the further more optimization of control and protective switching devices.

Key words: control and protective switching devices (CPS); Inverse time characteristic; current calibration; three-phase current; leakage; detection

0 引 言

控制与保护开关电器是低压电器中的一种新型产品,其英文缩写为CPS。控制与保护开关电器集成了传统的断路器、接触器、过载保护继电器、变压器、启动器、隔离器等的主要功能,具有远程自动控制和就地直接人工控制功能、面板信号指示及声光信号报警功能、

过压欠压保护功能、断相及缺相保护功能、过载反时限保护功能,能够接通、承载并分断规定的非正常条件(如短路)下的电流^[1-3]。目前,市场上的控制与保护开关,存在延时特性非线性、采样精度不高、校准方式单一、脱扣机制不完善、辅助功能不丰富等问题。

本研究提出一种新型控制与保护开关电器,具备精确线性反时限特性、较高的采样精度,提供多种电流

电压校准方式且具备安全迅捷的脱扣方式以及用户可定制的辅助功能,同时以其成本优势迅速打开市场。

1 系统设计图

系统设计图如图 1 所示。控制保护开关通用变压器输出电压大约为 18 VAC,经过整流滤波电路、得到 22 V 直流电压以驱动分励脱扣器以及继电器,再经过 DC-DC 电路得到 5 V 电压给单片机等芯片供电。电压检测采用 18 VAC 电阻分压得到交流小信号直接采样,电流检测采用 3 个电流互感器独立采样,电压电流采样信号经过运算放大电路输入至单片机,直接用单片机自带 10 位精度 A/D 进行采样,同时将电流、电压值显示于数码管;数码管采用并-串转换芯片实现静态驱动,获得稳定及高亮显示;脱扣电路分为继电器脱扣和分励脱扣,采用继电器节能驱动电路实现继电器低功耗无源输出;采用大功率三极管驱动分励脱扣器切断控制与保护开关主电源,实现瞬时分闸的目的。

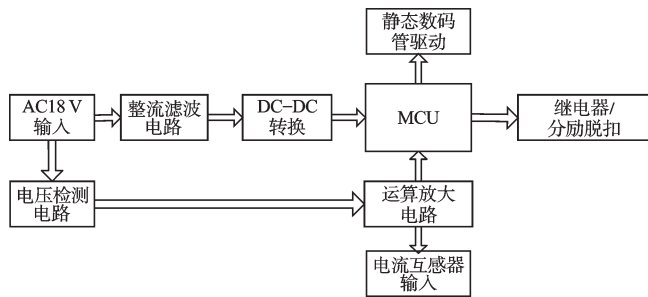


图 1 系统设计图

2 电路原理

硬件原理图由采样电路(电流和电压采样)、电源电路、显示电路以及继电器输出和脱扣电路四部分构成,MCU 采用 ATMEL 公司的 ATMEGA32A 型单片机,自带 8 路 10 位 A/D,是目前该项目最具性价比的单片机之一。本研究将着重介绍电流电压采样电路、继电器输出电路。

2.1 采样电路

该放大电路通过滑动变阻器与电阻的串并联实现电流参数的微调,电路图如图 2 所示,用来修正由于互感器一致性产生的误差以及运放的误差。本研究采用“Microchip Technology Inc”的 MCP6004 通用运算放大器进行电流、电压信号的放大。该运放支持轨对轨输入和输出,单电源供电情况下可以满幅输出,工业级的芯片供电电压为 1.8 V~5.5 V。在该放大电路中,本研究通过一级放大以及二极管滤除负半周期波形,再进行电压跟随,最后利用单片机按周期采样(采样频率与市电频率一致)得到实时电流电压值。这种采样方式

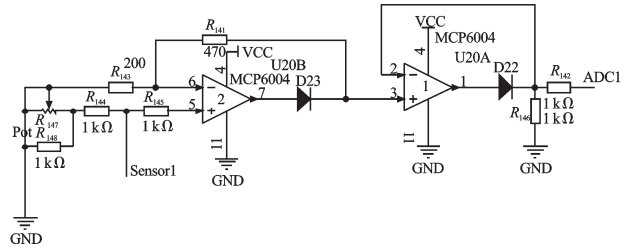


图 2 电流电压采样放大电路

相比峰值检波采样,具有更快的反应时间($T=20\text{ ms}$),而峰值检波电路需要较长的时间进行电容充电,不适合该项目,两种测量方法的比较情况如表 1 所示。

表 1 电流的两种测量方法比较

	采样时间 最大值/ms	采样时间 最小值/ms	采样时间均值 (实测)/ms
交流采样法	25	18	20
峰值检波法	550	510	540

2.2 继电器输出电路

继电器驱动电路如图 3 所示,当继电器吸合时,其动作电压(加载继电器驱动线圈两端的电压)一般要在其工作电压的 75% 以上,才能保证可靠动作。可靠吸合后,其线圈两端的维持吸合电压一般只要达到其工作电压的 30%~40% 即可,低功耗驱动就是根据继电器的这一特点实现的。当单片机控制信号 TUOK 为低时,三极管 Q_2 截止,继电器不工作;当 TUOK 为高时,对电容充电,电阻 R_2 相当于暂态短路, Q_2 工作在饱和导通状态,继电器线圈两端电压约为 VCC,而当 C_1 充电完成后,由于 R_2 的作用 Q_2 基极电流减小, Q_2 工作于放大区,调整 R_2 的阻值可控制 Q_2 集电极发射极电流的大小,从而控制落在继电器线圈两端的电压,达到降低继电器闭合时功耗的目的。其中, Q_2 :可选择通用 NPN 管, $I_C >$ 继电器核定电流, $V_{CE0} > VCC$; V_I :控制端电压(单片机输出); R_3 : Q_2 饱和导通时的限流电阻,可按照如下公式取值:

$$R_3 < (V_I - 0.6) \times \frac{h_{FE}(\min)}{1.5 \times I_k} \quad (1)$$

式中: $h_{FE}(\min)$ —继电器 h_{FE} 最低值, I_k —继电器额定工作电流。

R_2 :电路在工作稳定后,由于 R_2 和 R_3 的共同作

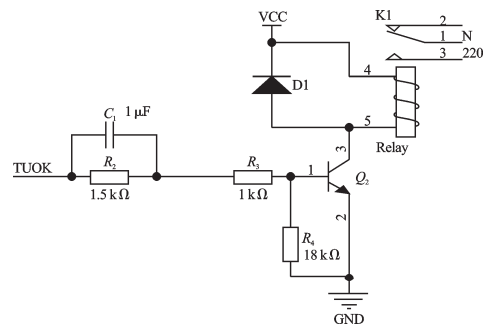


图 3 继电器驱动电路

表 2 过载反时限特性实际测量表

过载电流 I_1	$I_1=1.2I_n$	$I_1=1.5I_n$	$I_1=2I_n$	$I_1=4I_n$	$I_1=7.2I_n$	$I_1=8.4I_n$
反时限动作理论值/s	136	48	20	4	1.17	0.86
恶劣环境下实际值/s	130~140	45~51	18~22	3.6~4.3	1.05~1.3	0.75~0.95
良好环境下实际值/s	135~136	47.5~48.5	19.8~20	3.9~4.1	1.12~1.2	0.82~0.88

用, Q_2 工作在放大区, 达到继电器闭合后低功耗保持的目的。

$$R_2 = (V_I - 0.6) \div \frac{V_K}{R_k \times h_{FE}(\text{min})} - R_3 \quad (2)$$

式中: V_k —继电器吸合维持电压, R_k —继电器直流电阻。

3 反时限算法分析

目前, 反时限^[4-9]过流保护已广泛应用于发电机、变压器、电动机和配电网的保护之中。根据国家电力行业标准, 微机反时限过流保护曲线数学表达式为:

$$t = \frac{k}{(I/I_B)^C - 1} \quad (3)$$

式中: C —反时限特性常数, 该项目中 $C=2$; I_B —基准电流; I —实际工作的等效电流; t —反时限过流保护动作时间; k —反时限常数。

在电力系统中, 故障电流的大小并不是恒定不变的。考虑到不同时刻实际电流的大小不同, 故控制与保护开关电器采用式(3)的积分形式进行反时限过流保护的判断。本研究将式(3)改写为:

$$k = \int_0^t \left[\left(\frac{I(t)}{I_B} \right)^C - 1 \right] dt \quad (4)$$

其中, 等式右端的积分体现了过电流的热效应随时间的累积, 当该积分大于 k 时, 反时限过流保护动作。本研究取反时限特性常数 $C=2$, 得到的反时限特性曲线如图4所示, x 轴表示实际电流 I_1 对额定电流 I_n 的倍数, y 轴表示 $C=2$ 时的反时限动作时间。

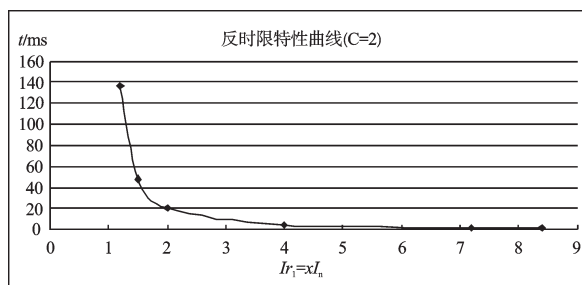


图4 反时限特性曲线

由于MCU只能处理离散数据, 只有将式(4)离散化后才能应用到控制与保护开关电器中。本研究将式(4)离散化后整理得:

$$\sum_{n=0}^{M-1} \left[\left(\frac{I(n)}{I_B} \right)^C - 1 \right] = \frac{k}{\Delta T} \quad (5)$$

式中: ΔT —两次反时限求和时间间隔, 一般取计算的间隔时间, 由于 ΔT 很小, 在这段时间内假设故障电流基本不发生变化。 M —保护动作时的求和次数。

在反时限过流保护中, 在选定某一条反时限曲线后, k, C 和 ΔT 均为常数。当 $I > I_B$ 时, 本研究启动反时限过流保护, 并对式(5)左端逐次累加求和。当求和达到临界值 $G(G=k/\Delta T)$ 时, 反时限过电流保护动作, 动作时间为 $t=M\Delta T$ 。

由于MCU进行A/D采样是离散的, 式(5)是符合该项目的反时限特性拟合公式, 本研究采用拟合曲线法进行计算, MCU在求和时间间隔内只需进行一次浮点运算, 对于该项目选用的ATMEGA32A单片机, 是完全可行的, 相比直接数据储存查表法更为精确。

4 测量结果分析

该项目过载反时限特性实际测量结果如表2所示, 其中取反时限特性常数 $C=2$, 为极限反时限特性。

表2的数据客观体现了过载反时限特性, 反时限动作理论值通过公式(3)计算得到, 反时限动作实际值通过电动机保护器性能校验台测量得到, 其实际结果基本符合反时限理论曲线, 但是仍存在一定的误差。在国标要求下的最恶劣的电气环境中测量, 当 $I_1 \leq 4I_n$ 时存在10%以内的误差, 当 I_1 增大到 $8.4I_n$ 时, 误差范围也将扩大到15%。这是由于电网的不稳定, 在延时过程中电压和电流实时改变而导致的误差, 但是该误差范围仍在国标要求以内。在实际较为良好的电气环境中, 测量的反时限动作理想值误差控制在5%以内, 较好地验证了该项目的反时限算法^[10]。

5 结束语

当前电气行业正由机械式朝电子式、智能化、模块化发展。本研究针对当前新兴的控制与保护开关电器的市场需求, 以及传统控制与保护开关操作和生产上的缺陷, 设计研发了基于反时限特性的控制与保护开关电器, 实现过载长延时反时限动作保护、短路瞬时保护、过欠压保护、三相不平衡保护、漏电保护等一系列功能。该研究成果已在市场应用, 得到生产厂家和客户的广泛认可。

(下转第468页)

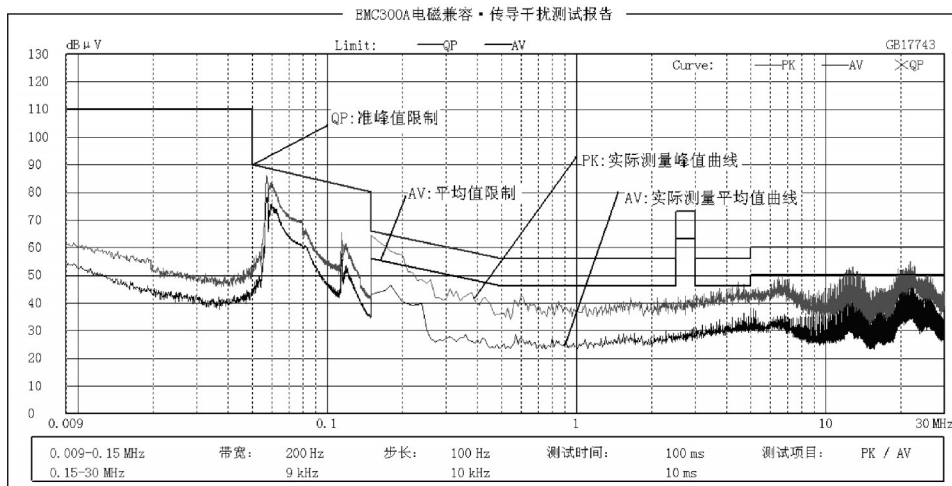


图6 EMC传导干扰测试报告

3 结束语

本研究对PWM调光、模拟调光、可控硅调光3种调光方式的应用场合及优缺点进行分析,得出了PWM调光方式比较适合于LED恒流驱动特性解决方案,并对该解决方案进行了样板调试验证。

研究表明,该驱动器设计能够实现高效率、高功率因数、低总谐波畸变及宽范围调光的指标,同时满足EMC传导测试干扰要求,是一款高性能可调光LED驱动器解决方案。

参考文献(References):

[1] 陈浩,席光,刘胜,等.一种精确调光的LED电源设计[J].电源技术,2011,35(2):218-220.

[2] PATTERSON J. 可调光LED:应该选择哪种方案[J]. 中国电子商情(基础电子),2011(4):55-88.
 [3] 张占松,蔡宣三. 开关电源的原理与设计(修订版)[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
 [4] 许化民,阮新波,严仰光. 单级功率因数校正AC/DC变换器的综述[J]. 电力电子技术,2001(1):56-60.
 [5] STMicroelectronics. Esign Equations of High-power-factor Flyback Converters Based on the L6561 [K]. STMicroelectronics, 2003.
 [6] 骆祖国,陈渊睿. 高效LED照明驱动及智能调光电路设计[J]. 微处理机,2011,32(2):84-87.
 [7] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化委员会.GB 17743-2007 电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限制和测量方法[S].北京:中国标准出版社,2008.

[编辑:张翔]

(上接第449页)

参考文献(References):

[1] BENMOUYAL G. Design of a digital multi-curve time-over-current relay[J]. **IEEE Transactions on Power Delivery**, 1991,6(2):656-665.
 [2] YANG Qi-xun, LIU Jian-fei, ZHANG Tao, et al. Technical development and analysis on modern microprocessor-based protection[J]. **Electrical Equipment**, 2003,4(5):10-14.
 [3] WAFER J A. The evolution of arc fault circuit interrupters [J]. **Proceedings of the Fifty-First IEEE Holm Conference on Electrical Contacts**, 2005,9(26-28):156-161.
 [4] KAREGAR H K, ABYANEH H A, ALDABBAGH M.A flexible approach for overcurrent relay characteristics simulation [J]. **Electric Power System Research**, 2003, 66 (3) : 233-239.

[5] 徐厚东,黄益庄,付铭.微机反时限过流保护算法[J]. 清华大学学报:自然科学版,2006,46(1):1-4.
 [6] 伍叶凯,邹东霞.适用于输电线路的单片机反时限过流保护[J].电力系统自动化,2001(17):56-59.
 [7] 刘为.配电网输电线路反时限过流保护探讨[J].继电器,2003,31(3):23-25.
 [8] 阎石.数字电子技术基础[M].5版.北京:高等教育出版社,2006.
 [9] 张惠芳,思晓兰.微机发变组保护中反时限保护整定计算[J].电子自动化设备,2001,21(11):64-65.
 [10] 中国国家标准化管理委员会. IEC60947-6-2 低压开关设备和控制设备_第6部分多功能电器_第2节控制与保护开关电器[S].北京:中国国家标准化管理委员会,2007.

[编辑:张翔]