

浅谈微型断路器过欠电压保护设计

目前微型断路器在过载长延时保护、短路瞬时保护以及漏电保护功能方面日趋完善,在此基础上设计一种电气原理简单的过欠电压保护附件。通过研究国家标准对剩余电流动作断路器分断时间的规定要求,设计的过电压动作时间及欠电压动作时间都在100 ms以上,避免误动作,能有效应用在用电环境复杂的场所,搭配该附件的微型断路器不仅具备基本的过载及短路保护,同时可实现过欠电压保护。

陈平 刘超 范奇文/浙江天正电气股份有限公司

0 引言

微型断路器装载过欠电压保护附件,适用于交流50 Hz、额定电压230 V,额定电流63 A的配电线路中,作为照明及动力设备的过载与短路保护,也可在正常情况下作为设备的不频繁通断转换。该系列断路器由高强度高阻燃性塑料外壳、过电流脱扣器、过欠电压附件、自由脱扣机构、触头及灭弧室组成。若电网电压超出或低于某一设定电压值时,断路器脱扣以切断电源电压,避免电气设备因电源电压不在额定工作范围内的损坏。过欠电压保护附件设定的过电压与欠电压动作阈值分别是 $275\text{ V} \pm 5\%$ 和 $165\text{ V} \pm 5\%$,电源电压处于两者之间时断路器正常合闸。

关键词/Keywords

过欠电压·
RC电路·
动作时间·

1 过欠电压原理分析

过欠电压保护附件的电气原理图如图1所示,由全桥整流、过电压保护及欠电压保护三大模块构成,其中过电压保护与欠电压保护的输出之间通过1N4148二极管隔离。当电网电压处于正常范围内,过电压保护或者欠电压保护电路

未输出高电平,晶闸管SCR保持截止状态,此时通过脱扣器线圈TR的电流很小,产生的电磁吸力几乎忽略不计,微型断路器保持合闸状态;当电网电压异常时,过电压保护或者欠电压保护电路输出高电平触发晶闸管SCR,脱扣器线圈TR产生的电磁吸力推动铁心冲击自由脱扣机构的锁扣,使得微型断路器分闸。

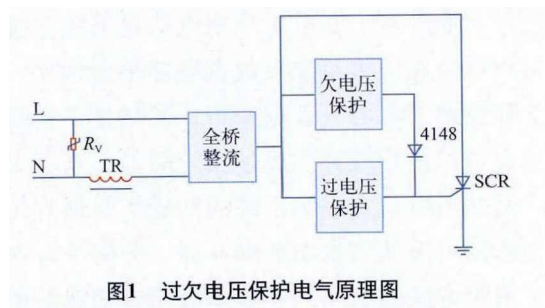


图1 过欠电压保护电气原理图

1.1 全桥整流

单相全桥整流示意图如图2所示,由4个二极管组成桥式整流电路,将有效值为 U 的正弦交流电转换成脉动直流。分析原理时不考虑整流二极管的压降,正弦波正半周时二极管 VD_1 、 VD_4 导通,在负载电阻 R_L 上得到正弦波的正半周;正弦波负半周时二极管 VD_2 、 VD_3 导通,同样在负载电阻 R_L 上得到正弦波的正半周。正弦交流电一个周期 2π 内,负载电阻 R_L

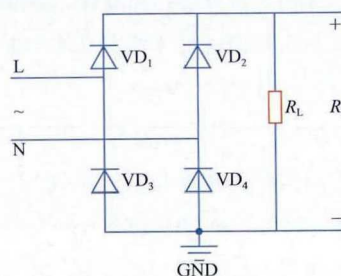


图2 单相全桥整流示意图

得到周期为 π 的单向脉动电压。

有效值为 U 的正弦交流电经过全桥整流后,得到的单向脉动电压其平均值 U_0 为^[1]

$$U_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U = 0.9U \quad (1)$$

1.2 过电压保护原理

过电压保护由电阻 R_1 、电阻 R_2 构成的串联分压电路及12 V稳压管设定过电压阈值来实现,其中电容 C_1 起全桥整流后滤波及充电延时的作用,延时时间的长短决定了过电压分断时间的快慢;电容 C_2 抗高频干扰,避免电网电压瞬时脉冲的冲击导致微型断路器误动作,如图3所示。

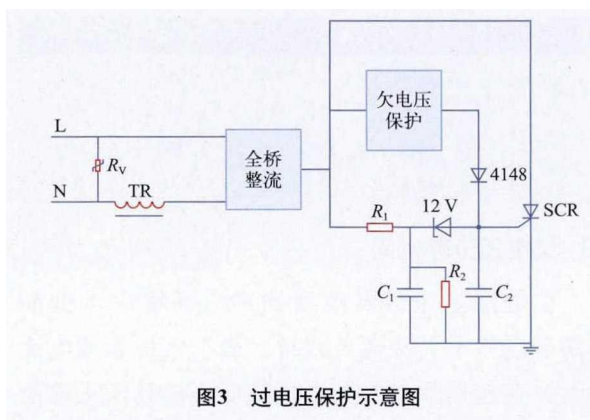


图3 过电压保护示意图

当电源电压有效值上升到断路器过电压保护动作阈值275 V时,稳态时电容 C_1 正极性端电压近似为

$$U_G = 0.9 \times 275 \times \frac{R_2}{R_2 + R_1} = (0.9 \times 275 \times \frac{24}{24 + 470}) V = 12 V \quad (2)$$

由于电容 C_1 正极性端电压等于12 V稳压管阴极电压,理论上此时稳压二极管阳极电压为0 V。随着电源电压超出断路器过电压动作阈值275 V,12 V稳压管的阳极电压也逐渐高于0 V,若阳极电压达到晶闸管SCR的触发电压,断路器发挥过电压保护功能。

1.3 欠电压保护原理

如图4所示,欠电压保护由电阻 R_4 、电阻 R_5 构成的串联分压电路,PNP型S9012晶体管的开关电路,电阻 R_7 和电容 C_4 构成的RC串联延时电路以及

12 V稳压管来实现,其中电容 C_4 起充电延时作用。当电容 C_4 正极性端电压经过1N4148二极管,达到晶闸管SCR控制极触发电压时,晶闸管单向导通从而断路器发挥欠电压保护功能,欠电压分断时间主要取决于电容 C_4 充电时间的快慢。电容 C_3 起辅助作用,同样的操作环境下电源电压低于断路器欠电压保护动作阈值165 V的程度越高,电容 C_3 的延时时间越短,PNP晶体管S9012越快导通,断路器欠电压脱扣时间越短。

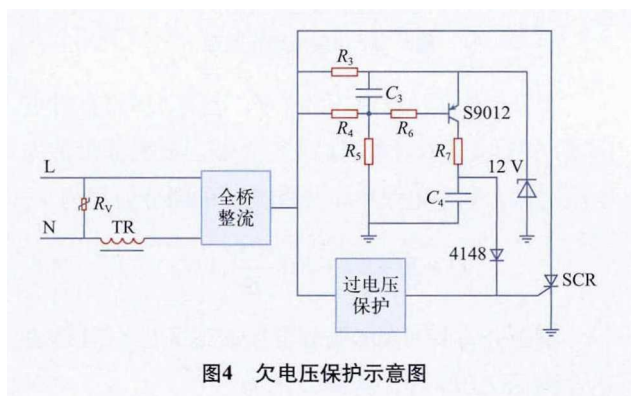


图4 欠电压保护示意图

电源电压整流之后经过 R_3 和12 V稳压二极管稳压, R_3 阻值应根据12 V稳压管的伏安特性曲线确定,使得稳压管的反向工作电流值对应于12 V稳压值,否则稳压管不能起到稳压的作用,同时稳压管的反向工作电流不能超出最大值,否则稳压管因功率过大而导致热击穿损坏。经过稳压之后,PNP型S9012晶体管发射极电压恒为12 V,实现欠电压保护功能由S9012晶体管的基极电压决定,避免S9012晶体管发射极电压波动导致欠电压保护动作电压值的不稳定。当电源电压有效值下降到断路器欠电压保护动作阈值165 V时,经过电阻 R_4 、电阻 R_5 构成的串联电路分压之后,PNP型S9012晶体管基极电压为

$$U_Q = 0.9U \frac{R_4}{R_4 + R_5} = (0.9 \times 165 \times \frac{22}{22 + 270}) V = 11.2 V \quad (3)$$

此时晶体管导通,其发射极电压经过电阻 R_7 和电容 C_4 构成的RC串联电路对电容 C_4 进行充电,若电容 C_4 正极性端电压经过1N4148二极管达到晶闸管SCR触发电压,断路器发挥欠电压保护功能。

2 过欠电压分断时间

2.1 RC串联电路

由过欠电压保护原理可知,过欠电压分断时间主要取决于RC串联电路的延时时间,RC串联电路模型如图5所示。

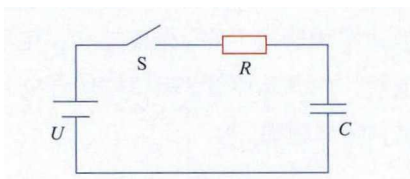


图5 RC串联电路示意图

假设C电容初始电压为0 V,当开关S闭合时电压源U通过电阻R对电容C进行充电。根据基尔霍夫电压定律,列出电路中电压和电流的微分方程为

$$U = Ri + U_c = RC \frac{dU_c}{dt} + U_c \quad (4)$$

解微分方程可知C电容电压表达式 U_c ,且该表达式满足 $U_c(0)=0$,计算公式为

$$U_c = U + Ae^{-\frac{t}{RC}} \quad (5)$$

两者结合可确定电容电压 U_c 和时间 t 的关系表达式为

$$U_c = U \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (6)$$

式中, RC 为时间参数。

从 U_c 表达式可知电容电压 U_c 稳态值为 U ,其值趋向稳态值 U 的速度与时间常数 RC 有关,时间常数 RC 值越大,则 U_c 趋向 U 的速度越慢;反之 U_c 趋向 U 的速度越快。

2.2 过压分断时间

随机抽取3台带过欠电压保护附件的DZ47微型断路器,其额定工作电压为230 V,壳架电流等级为63 A。通过调压器与漏电测试仪,以“快”和“慢”两种合闸方式分别测试过欠电压分断时间,记录每台断路器同一电源电压值下测量3次的平均值。电压值大小不变的情况下,合闸分闸速度的快慢明显影响断路器的分断时间大小。

由过电压保护原理可知,断路器发挥过电压

保护的分段时间取决于RC串联电路的延时时间,其中电阻 R 阻值大小要考虑功率,本文电阻 R_1 采用1206封装470 k Ω 贴片电阻, C_1 为4.7 μ F铝电解电容,其RC串联电路时间常数 RC 为

$$RC = (470 \times 10^3 \times 4.7 \times 10^{-6}) \text{ s} = 2.2 \text{ s} \quad (7)$$

过电压动作时间试验记录如表1所示。表1所示过电压分断时间基本上不低于200 ms,若电路中出现瞬间的电压脉冲,只要脉冲电压持续时间低于过电压分断时间,则断路器保持合闸状态,避免了误动作及频繁脱扣现象的发生。只有当过电压持续一定时间,此时断路器才会判断电源电压确实异常,从而发挥过电压保护功能。

表1 过电压动作时间试验记录

电压/V	合闸分闸速度快慢	分断时间/ms		
290	慢速	638	643	641
	快速	480	491	499
320	慢速	357	333	330
	快速	220	236	217

2.3 欠电压分断时间

在电源电压较易波动的用电环境中,例如断路器应用于大感性负载时,由于设备起动电流很大,在起动瞬间电网电压降低再恢复至正常范围。若欠电压分断时间设计不合理,导致断路器应用于感性负载时起动的瞬间误动作,甚至可能出现合闸失效的故障。提高过欠电压保护微型断路器的欠电压分断时间,由工作原理分析可知,最终目的是要延长电容 C_4 的电量累积时间,以此延迟触发晶闸管SCR。晶闸管SCR是微型断路器过欠电压附件的关键元器件,其主要参数包含断态可重复峰值电压及焦耳积分值 I^2t ,当微型断路器正常合闸时,断态可重复峰值电压参数对晶闸管的可靠性起关键作用;当微型断路器动作瞬间焦耳积分值 I^2t 对晶闸管的可靠性起关键作用。

本文采用MCR100-8晶闸管,其断态可重复峰值电压可达800 V且8.3 ms内焦耳积分值 I^2t 为0.415^[2],即MCR100-8在8.3 ms内能够承受7 A电流。为使得过欠电压保护微型断路器的欠电压分断时间在合适范围内,确定电阻 R_3 阻值大小

(下转第68页)

Society General Meeting, 2007: 1-6.

[13] van Beuzekom I, Mazairac L A J, Gibescu M. Optimal design and operation of an integrated multi-energy system for smart cities [C]. IEEE International Energy Conference, 2016.

[14] GB/T 13462—2008 电力变压器经济运行 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[15] GB/T 31367—2015 中低压配电网能效评估导则 [S].

[16] GB/T 26194—2010 蓄冷系统性能测试方法 [S].

[17] JGJ/T 132—2009 居住建筑节能检测标准 [S].

[18] GB/T 50627—2010 城镇供热系统评价标准 [S].

[19] GB 50736—2012 民用建筑供暖通风与空气调节设

计规范 [S].

[20] GB/T 17981—2007 空气调节系统经济运行 [S].

[21] NB/T 33016—2014 电化学储能系统接入配电网测试规程 [S].

[22] GB 19577—2004 冷水机组能效限定值及能源效率等级 [S].

[23] 林世平, 李先瑞, 陈斌. 燃气冷热电分布式能源技术应用手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.

[24] 杜栋, 庞庆华, 吴炎. 现代综合评价方法与案例精选 [M]. 2版. 北京: 清华大学出版社, 2008.

(收稿日期: 2017-02-24) **EA**

(上接第56页)

和电容 C_4 容值大小, 其 RC 串联电路时间常数为

$$RC = (240 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-6}) s = 2.4 s \quad (8)$$

电容 C_4 初始电压为0 V, 根据电容 C_4 电压和时间 t 的关系表达式 (6) 可知不同时刻的电压, 结果如表2所示。

表2 电容 C_4 电压与时间的关系

时间/ms	C_4 电容电压/V
30	0.149
50	0.247
70	0.345
90	0.442
110	0.538
130	0.633
150	0.727
300	1.410
320	1.498

由表2可知, 经过150 ms, 电容 C_4 电压为0.727 V; 经过320 ms, 电容 C_4 电压为1.498 V, 考虑到电容 C_4 触发晶闸管时1N4148二极管上会有0.7 V左右的压降, 且晶闸管MCR100-8控制极的触发电压为0.8 V。因此当电容 C_4 电压达到1.5 V时触发MCR100-8晶闸管, 脱扣器线圈产生的瞬时吸力推动铁心冲击自由脱扣机构的锁扣, 使得微型断路器分闸, 实测欠电压分断时间如表3所示。

表3 欠电压动作时间试验记录

电压/V	合闸分闸速度快慢	分断时间大小/ms		
155	慢速	599	579	569
	快速	308	302	296
140	慢速	476	486	418
	快速	243	245	241
120	慢速	332	191	266
	快速	134	123	114
100	慢速	384	228	230
	快速	130	119	113

3 结束语

本文分析了微型断路器过欠电压保护附件的原理, 并在此基础上结合 RC 串联电路计算过欠电压保护的分断时间, 选择合适的 RC 时间常数使得过欠电压保护的分断时间在100 ms以上。避免复杂的应用环境下, 如电网电压出现瞬时尖峰脉冲, 或者感性负载起动瞬间电网电压暂降情况下产品的误动作, 该过欠电压附件的设计思路可以为相关产品的设计提供一定参考。

参考文献

[1] 童诗白, 华成英. 模拟电子技术基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[2] 刘德胜, 郎文庆, 叶文利, 等. 浅谈提高漏电断路器性能的试验及措施 [J]. 低压电器, 2009, 19 (4): 62. (收稿日期: 2017-01-17) **EA**