

一种改进的电梯电源防雷电路的研究

电梯控制电源要求稳定、可靠和长寿命,而对于安装在易遭受雷击干扰入侵场合的电梯控制电源,又要求具有较高的抗雷击能力。为提高电源抗雷击浪涌性能,提出了在防雷电路中引入串联空心电感的改进措施,在分析空心电感作用的基础上,建立了模型,并搭建了实验电路。实验结果表明,采用空心电感的防雷电路能有效地提高电源防雷性能,减少后级电路受到的危害。

郭思远 李志忠 程明谊/广东工业大学信息工程学院

0 引言

雷电浪涌是指由雷电引起电路中形成大的电流或电压波动。通常情况下由交流供电电源线路等途径入侵,导致电子系统的电路受到干扰或损坏^[1-2]。抑制雷电浪涌,国内的研究与应用一般采用旁路保护法,即并联过电压保护器件进行保护^[3]。常用的过电压保护器件有:压敏电阻(MOV)、瞬态抑制二极管、火花隙、气体放电管和电流型硅浪涌保护器件。此类过电压保护器件吸收能力有限,大电流冲击残压较高,对浪涌电压尖峰无法起到很好的抑制作用^[4]。浪涌电压尖峰灌入后级电路,则会加速元器件老化,击穿器件,烧毁电路等。

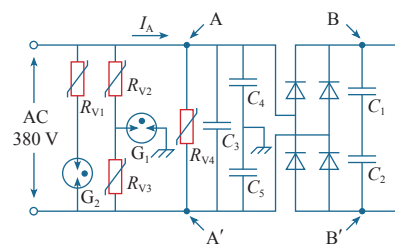
电梯控制电源为电梯的控制核心供电,要求寿命长、稳定和可靠,而对于安装在高楼顶层、工地等易遭受雷击干扰入侵场合的控制电源,又要具有很强的抗雷击能力。针对此情况,本文提出了在电源输入级防雷电路引入串联空心

电感的改进方案。且以该电源为对象,对引入空心电感的防雷电路进行了建模分析^[5],并对改进前后的电源防雷电路进行了对比实验。实验结果验证了该防雷电路的可行性。

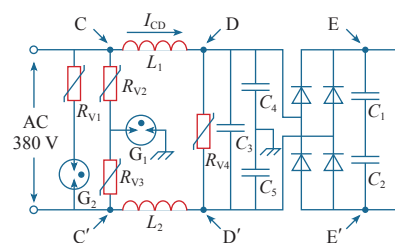
1 改进的防雷电路及其原理分析

1.1 改进的防雷电路

图1为电梯控制电源的输入级防雷电路改进前后原理图。图1a为改进前的电路原理图,图1b为改进后的电路原理图。两图输入电压均为AC 380 V, R_{V1} 、 R_{V4} 为820 V压敏电阻, R_{V2} 、 R_{V3} 为620 V压敏电阻, G_1 、 G_2 为1 kV气体放电管, C_3 为X电容, C_4 、 C_5 为Y电容,图1b中 L_1 、 L_2 为空心电感。



(a) 改进前的输入级电路



(b) 改进后的输入级电路

图1 电梯电源输入级电路图

空心电感是导线在非磁材料上绕制而成的,在相同匝数、体积的情况下,



郭思远/硕士研究生

关键词/Keywords

雷击浪涌 ·
防雷电路 ·
空心电感 ·

广东省科技计划项目(2013B011301011), 东莞市科技计划项目(2012108102052)。

空心电感的“感抗”值大大低于实心电感，但空心电感不易进入磁饱和状态，属于线性电感，其可抑制浪涌电流的上升速率。带有磁心的扼流圈（电感）在承受浪涌电压尖峰时，一旦电流增大，扼流圈进入饱和状态，电感量迅速下降，此时其特性相当于导线，故失去限流作用。相较而言，空心电感则能够对高频电压尖峰起到分压作用，从而有效地扼制后级电路承受的浪涌电压冲击。

由于差模形式的浪涌冲击危害比共模冲击大，故以下雷击浪涌实验采取差模形式。雷击浪涌发生时刻，对于图1a所示的电路，浪涌尖峰耦合至输入端，电压上升至击穿气体放电管 G_2 并使 R_{V1} 导通，释放掉部分浪涌能量，残压加在AA'之间的线路上，残余浪涌能量通过整流桥，充入后级电容 C_1 、 C_2 。对于图1b所示的电路，浪涌电压耦合至C、C'之间，电流上升斜率受空心电感扼制，使得 R_{V1} 与 G_2 泄放掉更多的电荷，此时电感 L_1 、 L_2 分担了绝大部分浪涌电压，从而使D、D'右边的后级电路免于承受高压尖峰。

1.2 空心电感作用的定性分析

为了便于分析，对带有空心电感的防雷击电路作如下假设：空心电感近似为理想电感；MOV等效为电阻 R ；忽略气体放电管的影响；在半个工频周期之内，整流桥不换向，忽略其作用。 C_1 、 C_2 为电解电容，容值各100 μF ，串联后等效容值为50 μF ，空心电感100 μH 。这里以压敏电阻在1 400 V条件时的等效电阻值5 Ω 作为典型值进行分析，得到从 U_{CC} 到 U_{EE} 的传递函数为

$$G(s) = \frac{U_{EE'}}{U_{CC'}} = \frac{\frac{1}{LC}}{s^2 + \frac{1}{RC}s + \frac{1}{LC}} = \frac{10^8}{s^2 + 4 \times 10^4 s + 10^8} \quad (1)$$

由式(1)可知，该系统为一个二阶系统。故可知，该系统的自然转折频率为 $1 \times 10^4 \text{ rad/s}$ 。将其单位由角频率转换为频率，为1.59 kHz。转折频率之后的高频段， U_{CC} 到 U_{EE} 的增益以 -40 dB/(rad/s) 的斜率衰减。利用Matlab绘制出如图2所示增益曲线图。将IEC 61643-1等级Ⅲ的标准测试波形（开

路电压1.2/50 μs ）作频率分析，可得其基波成分的频率为10 kHz，在10 kHz的频率点上， $U_{EE'}/U_{CC'}$ 增益为 -32 dB 。而谐波分量的频率高于10 kHz。图2中，转折频率之后，频率越高，衰减越大，故谐波分量的冲击能得到更好的抑制。由以上分析可知，与常规的旁路保护法相比，加入空心电感的防雷电路能够更有效地抑制雷击浪涌。

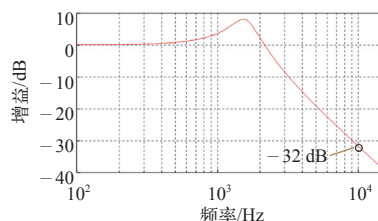


图2 传递函数增益曲线

2 浪涌冲击实验

雷电浪涌冲击实验装置主要由浪涌发生器、雷击浪涌耦合/去耦网络和电梯电源组成。雷电浪涌发生器采用杭州远方EMS61000-5A，符合IEC 61000-4-5标准，开路电压为1.2/50 μs 波形，短路电流为8/20 μs 波形，允许误差10%，内阻2 Ω ，可实现共模、差模两种注入方式，注入相位 $0 \sim 2\pi$ 连续可调，浪涌极性可变。雷击浪涌耦合/去耦网络采用杭州远方SGN-2A三相五线雷击浪涌耦合/去耦网络，耦合方式：电容耦合；耦合电容：18 μF （差模实验）；去耦电感：1.5 mH；最大电压：7 000 V；最大电流：3 500 A。

实验设置为差模6 kV，以交流电相位 90° 注入，以下测试结果均在此条件下产生。实验对比了输入级电路中浪涌电压和浪涌电流在改进前后的区别。

2.1 浪涌电压对比

由于后级电容的寄生参数（寄生电感和电阻）影响电容高频特性，导致此类电容不能有效地吸收高频电压尖峰。图3为浪涌电压测试结果图，其中图3a示出图1a中滤波电容 C_1 和 C_2 两端的电压 $U_{BB'}$ 的波形；图3b示出图1b中后级电容 C_1 和 C_2 两端的电压 U_{EE} 的波形。由图3可知，在雷电浪涌发生时刻，改进前的电路，滤波电容两端承受了一

个极高的瞬时电压尖峰,如图3a所示,该电压尖峰高达1.5 kV;而有空心电感的后级电容则免于承受此电压尖峰,如图3b所示。电源滤波电容在两次测试中都吸收了部分雷电能量,故电压被抬升,但图3a示出的电容电压上升至930 V,图3b示出的电压上升至880 V。两者电容电压抬升之后的储能分别为

$$E_1 = \frac{1}{2}CU_1^2 = \frac{1}{2} \times 50 \mu\text{F} \times 930 \text{ V}^2 \approx 21.6 \text{ J} \quad (2)$$

$$E_2 = \frac{1}{2}CU_2^2 = \frac{1}{2} \times 50 \mu\text{F} \times 880 \text{ V}^2 \approx 19.3 \text{ J} \quad (3)$$

式中, E_1 为改进前电路的电容储能; E_2 为改进后电路的电容储能,前后相差2.3 J。

将图3a所示的瞬时电压尖峰,以微秒为单位展开为如图4所示的波形图。由图4可见该尖峰超过1.1 kV的峰值部分,持续20 μs ,而滤波电容耐受的电压应力只有900 V,这种尖峰对电容器产生的危害,能够缩短其寿命。

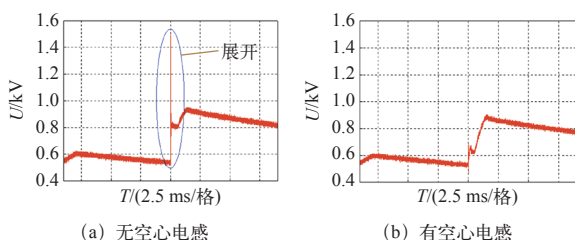


图3 浪涌电压对比

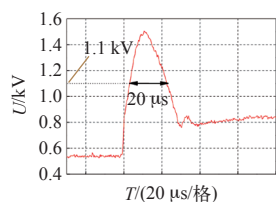


图4 无空心电感浪涌电压展开

2.2 浪涌电流对比

图5为雷击产生瞬时的浪涌电流测试结果图,其中图5a示出图1a中 I_A 处的电流波形;图5b示出图1b中空心电感电流 I_{CD} 的波形。电流测试采用230:1的电流互感器。由图5a可见,雷电浪涌发生时,无空心电感的输入级电路承受了高达1.5 kA的电流尖峰,而图5b示出的流过空心电感的电流峰值只有85 A。对比可知,空心电感能够明显抑制浪涌电流

的上升率,极大地降低了雷击浪涌进入后级电路的电流。

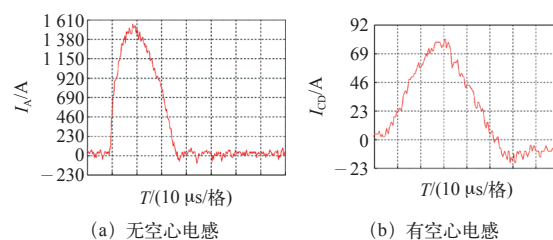


图5 浪涌电流对比图

3 结束语

本文提出了一种在输入级防雷电路中加入空心电感的防雷击改进措施,对空心电感防雷作用的原理进行了建模分析,并对改进前后的防雷电路进行了对比实验。实验结果表明,加入空心电感的防雷电路较传统防雷电路能够更为有效地抑制雷击浪涌电压,扼制浪涌电流,保护后级电路。

参考文献

- [1] Smith S B, Standler R B. The effects of surges on electronic appliances [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1992, 7 (3): 1275-1282.
- [2] Anderson L M, Bowes K B. The effects of power-line disturbances on consumer electronic equipment [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1990, 5 (2): 1062-1065.
- [3] Fernando J, Kularatna N, Round H, et al. Implementation of the supercapacitor-assisted surge absorber (SCASA) technique in a practical surge protector [C]. Industrial Electronics Society, IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE, 2014: 5191-5195.
- [4] Bassi W. Input impedance characteristics and modeling of low-voltage residential installations for lighting studies [C]. Proc. of the 29th Int. conf. on Lightning Protection, 2008: 123-128.
- [5] 罗响, 周歧斌. 开关电源类负载在冲击状况下的建模研究 [J]. 电力电子技术, 2013 (9): 83-85.

(收稿日期: 2016-01-08) EA