

金属氧化物避雷器阻性泄漏电流无线检测方法的设计

张金波^{1,2}, 范梅荣¹, 王俊¹, 李威¹

(1. 河海大学计算机及信息工程学院, 江苏 常州 213022; 2. 河海大学电气工程学院, 江苏 南京 210098)

Design of Resistance Leakage Current Wireless Measurement of Metal-oxide Surge Arrester

ZHANG Jin-bo^{1,2}, FAN Mei-rong¹, WANG Jun¹, LI Wei¹

(1. College of Computer & Information Engineering, Hehai University, Changzhou 213022, China;

2. College of Electrical Engineering, Hehai University, Nanjing 210098, China)

摘要:提出了一种测量金属氧化物避雷器阻性泄漏电流无线检测的新方法,该方法包括发送和接收两个装置。发送装置利用无线电理论,采集电网电压相位信号,并通过相应的电路将电网电压相位信号转换成脉冲信号进行调制后发送至接收装置。接收装置将接收到的电网电压相位脉冲信号进行解调后,与接收装置本身采集的避雷器全泄漏电流相位脉冲信号进行实时比较,得出电网电压和避雷器全泄漏电流的相位差,最后通过计算得出全泄漏电流的阻性电流分量,从而判断避雷器的性能。

关键词: MOA; 阻性; 相位检测; 泄漏电流

中图分类号: TM835.4

文献标识码: A

Abstract: This paper suggests a new method to measure the resistance leakage current wirelessly for metal-oxide surge arrester. The method has two devices, transmitting module and receiving module. The radio theory is adopted to collect the voltage phase information and to change it into pulse signal with certain circuit. The transmit device modulates the signal with phase information and sends it to the RF receive device by radio. The pulse signal of phase is demodulated by the RF receive device and compared with the phase of total leakage current of surge arrester. Phase differences between the network voltage and total leakage current of surge arrester are obtained. Then, the value of resistance leakage current is calculated, and the state of MOA can be judged.

Key words: MOA; resistance; phase detect; leakage current

1 引言

发(变)电站、输电线路是雷击灾害的高发区。而无论是直击雷还是感应雷,都可能给区内设施造成损坏,同时也对与其相连(甚至相近)的外部设备带

来冲击。因此,电力系统的高压线路送至用户自备变压器前,应该装设一套完善的防雷保护装置。目前我国广泛推行的是金属氧化物避雷器(MOA),它明显提高了电力系统的安全性,产生了巨大的经济效益。在实际运行中,无间隙金属氧化物避雷器在运行电压下会有阻性泄漏电流流过,其电阻阀片上会产生热量,从而使电阻阀片温度升高。正常情况下,由于发热量较小,在较低的温度下金属氧化物避雷器的散热与发热能保持平衡而不影响避雷器的正常工作。但随着工作时间的延长,温度的升高会使避雷器的电阻阀片老化,同时由于环境条件的影响,MOA的阀片会受潮及劣化,从而使正常工作条件下通过的阻性泄漏电流增加,一旦系统中有过电压产生,将会使MOA产生热崩溃,甚至使MOA爆炸,从而使MOA失去保护作用。因此,为确保MOA正常发挥作用,需要定期检测MOA的状态。

在正常运行电压作用下,MOA的阻性电流一般约为数十微安的微小电流,而电容电流可在几百微安以上。在正常运行情况下,阻性电流仅占全电流的5%~20%。在正常运行电压下,MOA运行参数可简化为一个非线性电阻和一个恒等值电容。性能正常的MOA,其电流主要是全电流 I 。当MOA劣化或受潮时,全电流 I 将增大,此时,阻性电流 I_R 反映最灵敏。当阻性电流从 I_R 增大到 I_{R1} 时,全电流 I 也将增大到 I_1 ,容性电流 I_C 增大到 I_{C1} ,但阻性电流 I_R 的增加量远大于容性电流 I_C 的增加量;当运行中的MOA受潮或劣化时,阻性电流将增大,全电流、容性电流也将增大,电压和电流夹角将减小。因此,重点在于测量全泄漏电流以及全泄漏电流与电压的相角 φ ,并通过间接计算得到阻性电流 I_R 。课题组在成功开发出高压无线核相仪的基础上,首次提出金属氧化物避雷器的

收稿日期:2005-07-18; 修回日期:2005-08-16

基金项目:河海大学常州校区科技创新基金资助项目(04B002-02) 常州市科技攻关资助项目(CE20040431)

作者简介:张金波(1967-),男,黑龙江省双城市人,副教授,博士研究生,从事电力系统及其自动化研究。

阻性泄漏电流无线检测的新方法^[1-4]。

2 MOA 无线检测方法的设计

MOA 无线检测装置总体结构见图 1, 主要由发送装置和接收装置 2 部分组成。发送装置主要完成电网电压的相位采集, 同时把采集的电网电压的相位角转换成脉冲信号调制后无线发送到接收装置; 接收装置主要完成总泄漏电流采集、总泄漏电流相位角采集以及接收发送装置发送的电网电压的相位角信息, 并把总泄漏电流相位角同接收到的电网电压的相位角加以比较求出其相位差, 并通过计算得到避雷器阻性泄漏电流。

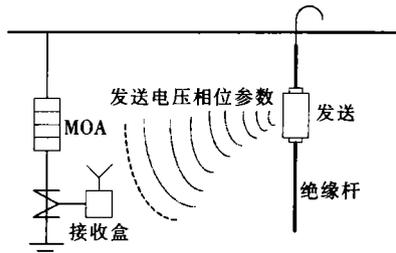


图 1 一相中的 MOA 测量情况

2.1 总泄漏电流 I 的测量

在不断电的高压回路中, 可用 CT 测量流过避雷器的全泄漏电流。CT 探头通常用高导磁率的铁膜合金制成, 以保证检测灵敏度及提高仪器的信噪比。同时 CT 探头必须有较好的屏蔽措施, 否则, 在现场测量时外界的电磁场干扰将使仪器无法正常工作。

将与全电流线性相关的电压信号经滤波后送至有效峰值转换电路, 测量出其有效值及其相位信号的大小, 并送至相应的处理电路。

2.2 电网电压 U 的测量

发送装置搭到一相的母线上测量电网电压的相位信号 (传统方法是将试验设备电压回路并接于母线 PT 二次电压端子, 可获得母线电压的相位), 发送天线同时作为信号采集处理电路 (简称电极)。当高压线路与电极接触时, 根据电磁场理论, 在电极上会耦合出具有相位关系、频率为工频的电磁信号。电磁信号在电极电感线圈上感应出电动势, 通过限幅电路把具有相位关系的电网电压信号取出, 并送至窗口比较器整形后再送至发送模块。

2.3 发送装置的结构设计

发送装置主要完成电网电压信号的采集。其主要由发送天线、信号选频及滤波电路、发送模块、方波发生器、驱动模块和光电信号电路等组成, 见图 2。

发送天线同时作为信号采集处理电路 (简称电极)。发送装置正常工作时, 电极和母线接触, 通过限幅和滤波等电路进行信号处理, 将电网电压信号取出, 送至窗口比较器整形后 (方波信号) 分为两路: 一路送至声光显示电路进行声光显示, 表示装置已经

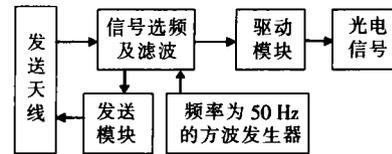


图 2 发送装置原理框图

正常工作; 另一路送至发送模块进行 ASK 调制, 经过发送模块调制后的电网电压方波信号又送回至天线再发送至接收装置^[4]。

发送模块的载频信号由声表面谐振器 (SAW resonator) 产生, 频率可达数百兆赫 (该设计采用国际通用的 ISM 频段 433.920 MHz), 该信号与采集所得的信号进行 ASK 调制。发射模块采用调制速度 DC-100 kHz (50% 占空比方波, TTL 信号), 为了保证最佳使用效果, 发射天线的长度可参考下式计算: 天线长度 = $7 \cdot 135 / 433.92 = 16.4 \text{ cm}$, 实际取 16 cm ^[5-6]。

调制电路见图 3。其中: C_1, C_2, L_1 构成考毕兹振荡器, 其振荡频率 f 由下式给出:

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$$

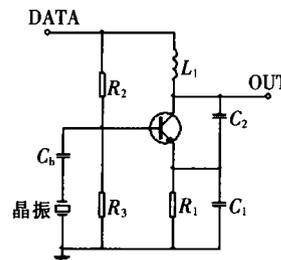


图 3 考毕兹振荡电路

振荡频率 f 必须接近谐振器的固有频率, 信号从 DATA 端输入。当信号为高电平时, 振荡电路工作, OUT 端输出信号; 而当信号为低电平时, 电路停止工作, 这样便实现了信号的 ASK 调制。调制信号再送入发送芯片, 就能达到无线传输的目的^[7]。

50 Hz 频率的方波发生器用于设备自检时模拟电网电压信号, 只有自检成功表明设备工作正常, 才可以进行避雷器性能检测。

驱动模块和光电信号用于指示设备是否正常工作, 当发送装置正常工作时, 整形后的电网电压信号控制驱动模块工作, 驱动光电电路, 发出正常工作时的光电指示信号。

2.4 接收装置的结构设计

接收装置主要完成接收电网电压相位信号、采集全电流信号、全电流相位信号、电网电压和全电流的相位差以及采集结果显示等工作。其主要由接收天线、接收模块、整形电路、频率为 50 Hz 的方波发生器、移相器、A/D 转换电路、单片机及 LCD 显示电路等组成, 结构框图见图 4。

接收模块主要完成发送装置送出的 ASK 信号

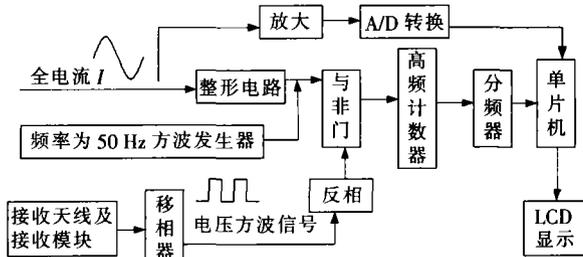


图 4 接收装置结构框图

的接收,并对所接收到的 ASK 信号进行解调,恢复成原来的被调制的电压信号。解调后的电网电压方波信号反向与整形后的避雷器全泄漏电流方波信号与非,即可得到相位脉冲信号,见图 5,然后送至高频计数器单片机进行实时采集实现相位计算,并将计算结果送至存储器。避雷器全泄漏电流放大后通过 A/D 转换送至单片机测出其有效值,再利用 CPU 进行计算处理后,将最终的阻性电流值直接在 LCD 上显示。接收模块的解调速度为 DC~13 kHz (433.920 MHz ARP),工作频率 433.920 MHz,接收灵敏度~100 dBm (433.920 MHz 1 kHz 方波调制 ARP)。为了保证最佳使用效果,接收天线的长度参考下式计算:天线长度=7 135/433.92=16.4 cm,实际取 16 cm^[5-6]。

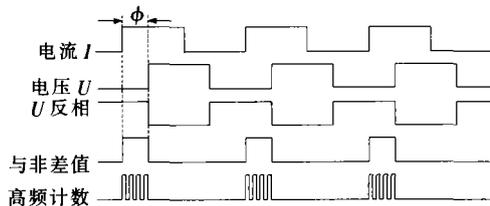


图 5 相位采集原理

频率为 50 Hz 的方波发生器主要用于设备自检时模拟避雷器全泄漏电流信号,只有自检成功表明设备工作正常,才可以进行避雷器性能检测。自检时发送装置和接收装置由各自的手动按钮开关控制。

为了提高测量准确度,MOA 在现场运行中,由于相间耦合,使各相避雷器除受该相电压作用外,还因相间耦合电容而受到相邻相电压的作用,从而影响检测结果的准确度。为了进一步提高准确度,减少误差,有效措施是采用移相器对电压信号移相,以弥补因相邻相耦合的容性电流造成被监测相的容性电流相位与参考电压相位不是 $\pi/2$ 的偏差。实践证明,当三相避雷器一字形排列时,A 和 C 两相的电压分别向后和向前移约 $3^\circ\sim 5^\circ$ 时,可以较好地修正该偏差。

利用单片机实现相位采集,直接用计数脉冲对相位差脉冲进行刻度,然后计算计数脉冲个数,再取平均值求出相位。这里采用高频计数器,计数脉冲频率越高,测量准确度越高。

相位采集时,2 个同频信号 I 和反相后的 U 通过与非门,得到和原电流信号同频率的相位脉冲信号。脉宽 τ 和相位 ϕ 成比例,再用与非门的输出脉

冲来控制高频计数器使能端,从而控制高频计数器计数。分频后送至单片机计数器 T_1 ,在单位时间内计数值 N 正比于 τ ,这样相位测量转化为时间的测量,其原理见图 5。

设高频计数器频率为 f_c ,信号频率为 f ,周期 $T=1/f$,与非门的输出脉冲周期也为 T ,信号脉冲宽度为 τ 。相角 ϕ 转化为时间量 τ 。对于信号周期 T ,设分频器为 K 分频。在与非门后,时间 τ 内通过的脉冲数 N_1 为:

$$N_1 = f_c \times \tau \quad (1)$$

将 $\tau = \frac{\phi}{360} \times T$ 代入式(1),得:

$$N_1 = f_c T \times \frac{\phi}{360} \quad (2)$$

$$\text{即: } N_1 = \frac{f_c}{f} \times \frac{\phi}{360} \quad (3)$$

单片机实际计数脉冲为 N ,由于分频器分频系数为 K ,有:

$$N_1 = KN \quad (4)$$

将式(4)代入式(3),得单片机计数值为:

$$N = \frac{f_c}{f} \times \frac{\phi}{360K} \quad (5)$$

最后可以得出相位 ϕ 为:

$$\phi = \frac{360NKf}{f_c} \quad (6)$$

从式(6)可以看出,最后的相位与分频系数 K 和计数频率 f_c 有关。提高 f_c ,可以增加采样点数,从而提高测量的准确度, K 也要做相应的调整。相位值送至 CPU 后,根据 $I_R = I \cos \phi$ (I 为泄漏全电流),可以得出所求的泄漏阻性电流值。

将采集到的经 A/D 转换后的全电流值 I 和 $\cos \phi$ 做二进制乘法,经十进制调整后,结果为所求的阻性泄漏电流分量 I_R 值。外接 LCD 模块后,通过 LCD 显示 I_R 值,当 $I_R/I > 25\%$, ϕ 也小于往年时,就应当停电检查 MOA 的具体破坏情况^[8-9]。

3 结语

设计的新型金属氧化物避雷器阻性泄漏电流无线检测方法,应用简便、安全,考虑到可能出现的相位偏差情况,应给予适当的误差调整。由于采用了现代 EDA 技术和无线通信方式,从而实现了远程相位测量,解决了以往有线检测不便等问题。发送装置采用 1 节 9 V 碱性电池供电,接收装置采用 12 V 蓄电池供电,发送装置和接收装置的通信距离达 10~30 m 以上(也可根据用户要求确定距离)。但为了保证在通信过程中不对其它设备产生影响,设计时将通信距离限制在 50 m 以内。为了保证数据传输和接收的可靠性,接收模块中的振荡器采用高准确度的声表面谐振器,而接收模块采用专用芯片实现,使接收模块只接收符合频率点的信号并进行 (下转第 7 页)

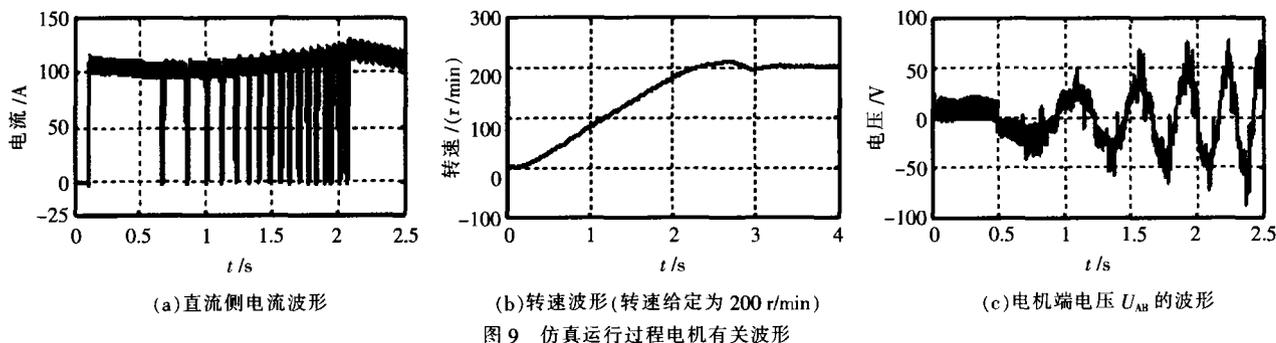


图9 仿真运行过程电机有关波形

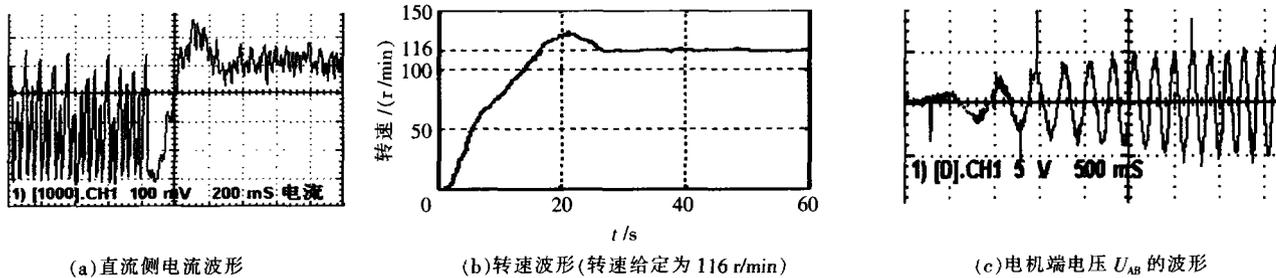


图10 电机实际运行过程测量波形

相同, $P_N=400\text{ kW}$, $U_N=1\text{ kV}$, $I_N=259\text{ A}$, $n_N=750\text{ r/min}$ 。由于实验时使用 380 V 电源, 电流限流为 30 A, 所以与仿真转速波形相比, 起动时间较长。

6 结语

利用仿真软件提供的电力系统模块和编程功能相结合, 并利用双闭环调节器构成调速系统, 建立了无换向器电机的全程时域仿真模型, 以模拟实际装置所具备的软硬件功能, 为实际装置的研制提供参考。仿真与实际波形分析, 验证了仿真模型的正确性。

参考文献:

[1] 肖雅萍, 李发海. 自控式同步电动机调速系统的仿真研究[J].

北京: 清华大学学报(自然科学版), 1991, 31(1): 54-61.

[2] 易继锋, 江祥贤, 侯媛彬, 等. 电气传动自动控制原理与设计[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 1997.

[3] 许大中. 晶闸管无换向器电机[M]. 北京: 科学出版社, 1984.

[4] 朱仁初, 万伯任. 电力拖动控制系统设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.

[5] 郭可忠. 用电流型逆变器供电的同步电动机的仿真 [J]. 电工技术学报, 1991(1): 7-15.

[6] 曹立宇, 李发海. 自控式同步电动机的数学模型及稳态运行的分析[J]. 电工技术学报, 1991(3): 1-5.

[7] Nishikata Shoji, Kataoka Teruo. Dynamic Control of a Self-controlled Synchronous Motor Drive System [J]. Trans. on Industry Applications, 1984, 20(3): 598-604.

[8] 杜海江. 高压无换向器电机及其控制技术研究 [D]. 华北电力大学, 2005.

(上接第3页)

解调, 同时为了保证测量的准确性, 对相邻的连续 4 次的测量值进行平均润滑处理。另外, 在硬件电路设计时, 采取了屏蔽金属外壳与电路板地相连、高频发射、数字地和模拟地一点共地、加去耦电容、减小地环流面积及加放电管等措施, 解决了无线数据传输中的磁场干扰问题。还采取了软件抗干扰措施, 保证了系统的可靠性。此外, 发送装置同时可以作为验电器使用。因此, 设计的金属氧化物避雷器阻性泄漏电流无线检测方法, 具有较高的实际应用价值。

参考文献:

[1] 郑健. 氧化锌避雷器泄漏电流在线监测技术综述 [J]. 继电器, 2000, 28(9): 7-9.

[2] 熊国华. MOA 带电测试实践浅谈 [J]. 电磁避雷器, 2001, 16

(3): 31-38.

[3] 王秉钧. 金属氧化物避雷器 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.

[4] 李小建. 氧化锌避雷器阻性电流的精确测量 [J]. 云南电力技术, 2001, 25(4): 19-21.

[5] 张金波, 胡钢, 张学武, 等. 一种实用新型的高压无线核相装置的设计[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13(1): 45-46.

[6] 张金波, 胡钢, 张学武. 一种新型的高压无线相位检测仪的设计 [A]. 电工技术前沿问题学术论坛论文集 [C], 北京: 电工技术学报编辑部, 2004.

[7] 黄智伟. 射频集成电路芯片原理与应用电路设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

[8] 刘公致. 一种较精确的相位测量方法 [J]. 杭州电子工业学院学报, 1999, 19(3): 44-50.

[9] 万福君. 单片微机原理系统设计与应用 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001.