

激光在高压测量中的应用

Application of Laser in High Voltage Measurement

高经伍¹, 赵凤华²

(东北电力学院, 1. 自动化系, 2. 机电系, 吉林 132012)

摘 要 利用激光、电光学效应, 克尔效应(二次光学效应)测量电场的分布, 可以在几乎不改变被测电场分布的情况下, 测出克尔效应物质所在点电场强度。据此研制的以硝基苯液体代替 Pockels 晶体的激光—克尔效应高压电场测量系统, 可用于工频冲击和直流场强的测量。

Abstract Using laser, electro-optic effect and Kerr effect to measure electric field distribution. The electric field intensity where the Kerr effect material lies can be measured without changing the measured electric field distribution. The system with nitrobenzene (similar with effect of Pockels) developed in this paper can be used to measure power frequency, impulse electric field and DC electric field intensity.

关键词 激光 电光学效应 克尔效应 电场强度
Key words laser electro-optic effect Kerr effect electric field intensity
中图分类号 TM835.4 文献标识码 A

0 引 言

研究电极形状复杂或有局部放电的高压电场分布, 目前仅有物理模拟这一种方法。但它测量高压电场时需将探头或传感器放入电场内, 如果传感器为金属型的势必会影响被测电场的分布。

70 年代末期, 美国输电线电磁效应研究小组研制出自由式感应器, 用来测量输电线路附近的交变电场。80 年代初期 Hidaka 研制出 Pockels 晶体测量电场, 放入电场中不会改变被测电场的分布^[1~3]。

由于硝基苯价格便宜, 不存在 Pockels 晶体昂贵及光损伤等问题, 本文利用硝基苯替代 Pockels 晶体测量电场并获得了满意的结果。

1 克尔效应

克尔效应也称为平方电光学效应, 它发生在一切物质中。当外加电场作用在各向同性的透明物质上时, 其光学性质变成具有双折射现象的各向异性特性, 并且与单轴晶体的情况相同。

设 n_o, n_e 分别为介质在外加电场的寻常光折射率和非常光折射率。当外加电场方向与光传播方向垂直时, 由感应双折射引起的寻常光折射率和非常光折射率与外加电场 E 的关系为:

$$n_e - n_o = \lambda_0 k E^2$$

式中: λ_0 为入射光波长, nm; k 为克尔常数, nm/V²; E

为电场强度, V/nm。
克尔效应最重要的特征是, 感应双折射几乎与外加电场同步, 有极快的响应速度, 响应频率可达 100 GHz。表 1 为几种物质的克尔常数。

表 1 几种物质的克尔常数 nm/V²

物质	k	物质	k
苯 C ₆ H ₆	1.8	水 H ₂ O	14.1
二硫化碳 CS ₂	9.6	硝基甲苯 C ₇ H ₇ NO ₂	369
氯仿 CHCl ₃	-10.5	硝基苯 C ₆ H ₅ NO ₂	660

图 1 是克尔调制器装置, 即克尔盒, 由玻璃中安装的一对平板电极和电极间充满的极性液体组成。

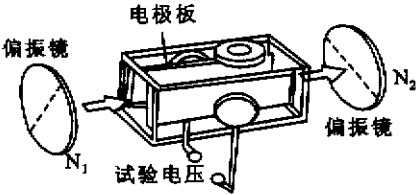


图 1 克尔盒示意图

将调制器放置在正交的偏振镜之间, 即让偏振镜的透光轴 N_1, N_2 相互垂直, 并且 N_1, N_2 与电场方向分别成 $\pm 45^\circ$ 。通光方向与电场方向垂直。当电极上不加外电场时, 没有光通过检偏镜, 克尔盒呈关闭状态; 当电极加上外电场时, 有光通过检偏镜, 克尔盒呈开启状态。若在两极上加电压 U , 则感应双折射引起的两偏振光波的光程差

$$\Delta = (n_e - n_o)s = k \cdot \lambda_0 (U/d)^2 \cdot s,$$

两光波间相位差 $\Delta\Phi = 2\pi ks(U/d)^2$,
式中: U 是外加电压, s 是光在克尔元件中的光程长度, d 是两极间距离, k 是克尔常数。此时, 检偏镜透射光强度 I 与起偏镜入射光强度 I_0 之间的关系为

$$I = I_0 \sin^2(\pi(U/U_{\lambda/2})^2/2),$$

式中: 半波电压 $U_{\lambda/2} = d/\sqrt{2ks}$ 。

2 激光—克尔效应测量系统

2.1 激光—克尔效应测量系统工作原理

光路及测量系统见图 2, 激光器 LG 发出的不完全偏振光, 射入分光束镜 HM, 由 HM 射出强度

相等、传播方向垂直的两束光 I_1 、 I_2 。 I_1 经反光镜 M 反射后,射入偏振镜(起偏镜) P_1 ,由 P_1 射出的线偏振光经四分之一波片($\lambda/4$),射入置于被测电场中的克尔盒,再经过偏振片(检偏镜) P'_1 ,后被光探测器 OD_1 接收。光束 I_2 自分束镜 HM 出后,经过由 P_2 、四分之一波片($\lambda/4$),偏振片(检偏镜) P'_2 ,最后被光探测器 OD_2 接收。经 OD_1 和 OD_2 放大的光信号,输入差动放大器 DA,最后输出电压信号 I 与高压发生器 HVG 加至克尔盒电极 E 的高压信号成正比。

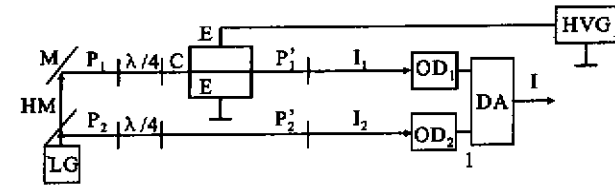


图 2 光路及测量系统

2.2 系统元件的设计与选取

据表 1 选取克尔常数最大的硝基苯为克尔效应物质。考虑到 LED 光源波长范围太宽,而 He—Ne 激光光强不稳定,本设计选用 JLE—3 型半导体激光器作为测量用光源($P=10\text{ mW}$, $\lambda=670\text{ nm}$),并为之设计了一个专用的供电电源,在室温下的输出功率变化为 1%。 OD_1 和 OD_2 采用 OP27 运算放大器,DA 差动放大器采用 AD526,输出电压稳定。

3 测量数据

用长 10 cm、高 5 cm、厚 10 cm 的比色皿作克尔盒(见图 1),极板间距 10 cm,测得的数据如表 2。

表 2 测量数据

U_1/kV	30.4	38.0	45.6	53.2	60.8	68.4	76.0	83.6	>83.6
U_2/V	2.53	2.53	3.62	4.94	6.20	7.18	8.12	9.54	击穿

从表 2 的测量数据可以看出:当被测电压 $U_1<38.0\text{ kV}$ 时,硝基苯没有克尔效应; $38\text{ kV}<U_1<83.6\text{ kV}$ 时,运算放大器输出电压 U_2 与 U_1 接近线性关系; $U_1>83.6\text{ kV}$ 时,硝基苯被击穿。

4 结 语

研制的激光—克尔效应高压测量系统,由硝基苯和电极组成的克尔效应转换器,具有较好光电转换关系,比较接近线性关系,线性相关系数 $\gamma=0.9987$ 。由于其响应速度极快,不仅可以用于工频和冲击场强的测量,而且可以用于直流场强的测量。增加克尔盒通光方向的长度可提高测量精度和灵敏度,并且可以提高抗干扰能力。加大克尔盒两个电极间的距离可提高测量范围、测量精度和灵敏度。

由于硝基苯是有机物“苯”的衍生物,故实际的硝基苯液体是以下几种同分异构体之一。例如:硝基“ NO_2 ”有可能在“苯环”的“ α 位”、“ β 位”、“ γ 位”等六种。每种硝基位置硝基苯都有各自的测量结果。

硝基苯液体实际上是几种同分异构体的混合体。“ α 位”、“ β 位”、“ γ 位”等它们占有的比例不同对测量结果有影响。

硝基苯液体纯度也对测量结果有较大影响。

温度对硝基苯克尔效应有影响,温度影响因素比较复杂,有待继续探测。

参 考 文 献

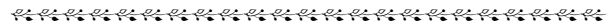
1 毛凤麟. GCD—100 光纤场强电压表原理及应用. 西北电力技术, 1992, (4): 1

2 Tassicker O J, Eng C. Boundary probe for measurment of current density and electric—field strenth—with special reference to inonsed gases. Proc IEEE, 1982, 121 (3): 213

3 Bouziane A, Taplamamacinglu M C. Calibration of a linear proke for coaxial DC corana experiments. 6th—ISH, 1989, paper 42. 01

(收稿日期 2002-01-30)

高经伍 1955 年生,高级工程师,现从事激光测量技术的应用研究。
电话: (0432)4806616



咸阳泰华特种电子元器件厂

替代进口 RIGB 型大功率高压精密电阻器			
功率/W	阻值/MΩ	工作电压/kV	外形尺寸/mm
5W—800	0.001—2000	10kV—400	(φ11—φ35)×(40—1230)
100	100	100	φ28×280
400	25	150	φ35×1230
高压玻璃釉电阻器			
5	3—200	10	φ11×44
10	4.7—300	15	φ11×75
25	10—800	25	φ11×135
大功率被釉线绕电阻器(可作成无感和阻值可调)			
50—500W	24Ω—90kΩ	(φ20—φ55)×(90—310)mm	

我厂可根据用户提出的功率、阻值、(精度)耐电压、(直流、脉宽、频率)外形尺寸、冷却形式、环境温度、温度系数、电压系数等小批量设计研制具有特殊用途的非标准、高精度、大功率、高压电阻器。

厂址: 陕西省咸阳市东部福利厂内

电话: 0910—3768660 手机: 13609215591

传真: 0910—3767659 邮编: 712000