

# 10~500 kV电子高压验电器试验仪的探索设计

在线路故障、高压失电的情况下如何对验电器进行检测,成为极大难题。通过对电压、电流和阻抗等物理模型的分析探索,找到了电压频率的反比关系,从而确定了提高频率,降低电压的设计方案,研制出了系列产品,投入现场使用,效果良好。

杨刘一 苏海滨/华北水利水电大学电力学院 马 瑞/国家电网内江供电公司



杨刘一/本科生

根据电力安全规程,电气设备停电检修前,须做验电测试,而实施检测的高压验电器,使用前又必须先预试验,确认正常后,方可在停电体上检测,以判断是否还有危险电量存在。

但在线路跳闸、封闭电缆等情况下,无高电压可做试验。针对这样的问题,经过推导论证,利用电子技术开展了10~500 kV高压验电器试验仪的研究设计,取得了由弱电替代强电做试验的成功经验。

## 电压频率转换探索

高压验电器使用中,工作人员手持绝缘棒,金属头对准停电设备,经大地形成回路,开展验电工作,若遇超额电压,验电器将发出声光信号。该声光信号需触发起动,其中触发电流 $I$ 、电压 $U$ 和阻抗 $Z$ 之互间有如下关系

$$I = U / Z \quad (1)$$

将该计算式展开,得出阻抗 $Z$ 中的人体对地电容 $C_r$ 及其容抗 $X_c$ 关系式为

$$X_c = 1 / j\omega C_r \quad (2)$$

$$I = U / Z = j\omega C_r U = 2\pi f C_r U \quad (3)$$

从上式中可以看到,  $2j\pi$ 是常数,而在同一电场环境中,包括人体在内的对地电容 $C_r$ 也将基本保持不变。在这样的

情况下,阻抗电流的大小便取决于电压值 $U$ 和频率值 $f$ 间的关系,而在乘积式中相互成反比,即当频率升高时,电压可降低。经过调整,即可将数十到几百千伏的高压电降到安全电压以内工作。这样,便把系统高压试验,变为了灵活的频率调节试验,由此找到了用电子技术替代高电压做试验的理论依据。

根据上述推断,开展高压信号发生器的计算工作,从电压关系找出对应的频率数值。按规定,各等级电压 $U_{nb}$ 残余在15%~40%时需要报警,即

$$U_{nb} = U_n (15\% \sim 40\%) \quad (4)$$

式中,  $U_n$ 为额定电压。

现以额定电压35 kV为例

$$\begin{aligned} U_{35} &= 35 \text{ kV} \times (15\% \sim 40\%) \\ &= 5.25 \sim 14 \text{ kV} \end{aligned} \quad (5)$$

据前面起动电流 $I$ 的计算公式,推导出对应频率报警值为

$$I = U / Z = 2\pi f C_r U \quad (6)$$

在基波范围有

$$\begin{aligned} I &= 2\pi C_r \times 50 \times U_n \\ &= 2\pi C_r \times [50 \times (5.25 \sim 14)] \\ &= 2\pi C_r \times [262.5 \sim 700] \text{ A} \end{aligned} \quad (7)$$

在方括号内,电压有多少,便与基波全数相乘,由此得到一个参考数据,因现场中已高压失电,所以,这个数据则可由在公式中占同等地位的频率值来替换,即

$$\begin{aligned} f &= 50 U_n = [50 \times (5.25 \sim 14)] \\ &= 262.5 \sim 700 \text{ kHz} \end{aligned} \quad (8)$$

但实际制作中,因高压验电器试验仪内部振荡、功放等需工作电压,外部试验还需触发电压等,为此,将其设计

### 关键词/Keywords

电压频率·  
数模推导·  
反比应用·  
研究设计·

为10 V。在前面高压失电已全额相乘的数据中,此处则应除以该部分保留电压值,即

$$f = [50 \times (5.25 \sim 14)] \times 1 / 10 = 26.25 \sim 70 \text{ kHz} \quad (9)$$

这样,便把35 kV高电压变换成了频率数值。以同样方式,可以推算出10~500 kV的各级电压对应的所有频率值,如下表所示。

表 报警电压和频率数值

| 电压等级 $U_n/\text{kV}$ | 10      | 35       | 110     | 220     | 500       |
|----------------------|---------|----------|---------|---------|-----------|
| 报警范围/kV              | 1.5~4.0 | 5.25~14  | 16.5~44 | 33~88   | 75~200    |
| 对应频率/kHz             | 7.5~20  | 26.25~70 | 83~220  | 165~440 | 375~1 000 |

上表中是经计算出的电压、频率报警值,将是进行10~500 kV高压信号发生器设计的数据依据。

## 电路设计

根据推导原理和相关数据,实施了电路设计,主体部分电路图如图1所示。

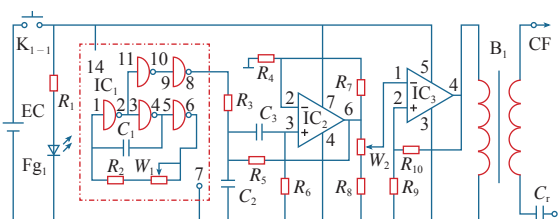


图1 高压信号发生器主体电路

### 1. 基本振荡与调频器

图1中以IC<sub>1</sub>非门逻辑电路为中心,结合C<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>和W<sub>1</sub>构成基本振荡器,改变阻容参数实现频率粗调。W<sub>1</sub>为多圈电位器,可对频率进行细调,从几千到几兆赫兹的振荡范围,能满足10~500 kV各级电压的频带触发要求。

### 2. 带通滤波器

振荡器的输出信号经R<sub>3</sub>后,进入带通滤波器,带通滤波器由集成运放IC<sub>2</sub>及其C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、R<sub>4</sub>、R<sub>5</sub>、R<sub>6</sub>、R<sub>7</sub>和R<sub>8</sub>组成,根据各电压等级15%~40%的电压报警范围,所对应的频率形成一个频带,经阻容参数的设置,在这个带内的频率才能通过,高于、低于的频率都将被滤掉。

仍以35 kV电压等级为例,它的报警频带是26~70 kHz,当R、C参数设定后,高于70 kHz的信

号将被C<sub>2</sub>滤掉,低于260 kHz的信号则被C<sub>3</sub>阻拦,故只有26~70 kHz的信号才能通过,由此对应的选频特性曲线如图2所示。集成运放IC<sub>2</sub>形成有源控制,将使滤波效果更好,品质因数更高,稳定性更强。

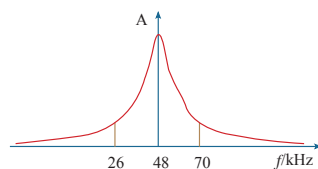


图2 选频特性 (35 kV)

### 3. 功率放大器

从W<sub>2</sub>来的信号又传送给功率放大器IC<sub>3</sub>,它也具备有源控制功能,频率范围宽,稳定性强,功率量大,更能适应高压信号发生器宽频范围下的带负载能力。

### 4. 脉冲变压器

经功率放大后的信号,再传送给脉冲变压器B<sub>1</sub>,将频率信号再做比例放大,形成高频高压输出。

脉冲变压器的特点是铁心采用适应高频变化的锰镍材料(非低频矽钢片)制成,同时,也具备变压器的基本特性

$$U_2 = KU_1 \quad (10)$$

式中,K为B<sub>1</sub>电压比;U<sub>1</sub>为B<sub>1</sub>一次侧电压;U<sub>2</sub>为B<sub>1</sub>二次侧电压。

由上式可见,通过改变一次侧、二次侧线圈匝数,即可灵活、有效地调整二次侧输出电压U<sub>2</sub>,达到各高压验电器能够按规程触发的幅度要求。

脉冲变压器设计制作好后,其二次侧下端接外壳,上端则在触发CF处接金属杆并伸出机壳外,做好试验准备。

## 使用方式

在高压验电器制作完成后,当要做高压验电器预防性试验时,首先要按电压等级选择好适合的高压信号发生器。高压验电器试验检测如图3所示。



图3 高压验电器试验检测

(下转第140页)

在现有的硬件条件和人员条件下,影响诊断时间的原因主要有:

- 1) 智能开关建设不完全,不能将诊断范围缩至最小。
- 2) 智能开关自身故障,漏发、误发信号。
- 3) 调度人员经验不足,对开关工况及告警信号不熟练,对诊断结果的理解不完全。

在诊断正确后,开关遥控率即为影响故障诊断处理效率的因素。其中会影响的情况有:

- 1) 开关遥控失灵,前置机死机,二次开关为“就地控制”等原因。
- 2) 负荷分配不合理,大量负荷集中在故障段,故障未隔离前无法送电。

## 结束语

科学建设规划与提高调度人员素质是目前提高故障诊断处理效率的主要手段,负荷的合理分配、科学规划改造、智能开关自身故障诊断以及诊断系统鲁棒性的提高需要在配电网自动化改造中作进一步探讨。

## 参考文献

- [1] 臧天磊,钟佳辰,何正友,等.基于启发式规则与熵权理论的配电网故障恢复[J].电网技术,

(上接第133页)

工作人员将高压验电器绝缘棒拉开,尾端可置地上,再将本试仪金属杆与高压验电器金属杆对接,按下试验按钮K1,投入试验工作。若高压验电器正常,即可发出声光信号;否则,说明该被测高压验电器有故障,不可再用。

经试验证明,按前面频率表所列计算数据和设计电路制作的高压验电器测试仪使用正常,分级明确,互不干扰,使理论与实践达到高度一致,满足设计要求。

## 结束语

本文从高压验电器工作与触发原理入手,对各个参数进行分析计算,论述和推导了采用频率调整

2012, 36 (5): 251-257.

- [2] 卢志刚,王克胜.基于多代理方法的配电网故障应急抢修调度[J].电网技术,2013,37(1):137-143.
- [3] 供电系统用户供电可靠性评价规程[S].
- [4] 蔡泽祥,周全.配电网接线方式对供电可靠性影响分析[J].电力系统及其自动化学报,2010,22(4):85-88,106
- [5] 刘健,张小庆,陈星莺,等.集中智能与分布智能协调配合的配电网故障处理模式[J].电网技术,2013,37(9):2608-2614
- [6] 李雅洁,宋晓辉,孟晓丽.模式化配电网紧急控制方法[J].电网技术,2013,37(4):1134-1139.
- [7] 郭永基.电力系统可靠性分析[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [8] 邵加武,汪齐松.城区配电网网络接线的优化[J].电工技术,2009,(3):21-22
- [9] 吴琳,周炜,沈兵兵.配电自动化几种不同实现方式的探讨[J].电力信息化,2008,6(7):74-77.
- [10] 白剑飞,朱振青,来广志,等.停电损失调查及估算[J].西北电力技术,2002,6:20-23.
- [11] 杨丽徙,张奇,张利,等.用户分时段停电损失费用的多源信息融合估算方法[J].中国电力,2011,44(12):16-20.

(收稿日期:2014-12-18) EA

以替代高压做验电器试验的可行性,从中寻找到了由弱电到强电大跨度试验的理论依据,并实施了10~500 kV高压验电器试验仪的设计。从理论到实践,都具有先进性和完善性。现在,已经生产出了系列产品,投入现场使用,效果良好。

## 参考文献

- [1] 盛守贫.关于对高压交流验电器检测工作原理的认识[J].华东电力,2007(7):81-83.
- [2] 王晓敏,刘建新.正弦交流分析[J].电工电子技术,2008(1):45-59.
- [3] 翟玉文,梁伟.二阶有源滤波[J].电子设计与实践,2005(5):14-16.

(收稿日期:2015-02-10) EA