

低气压火花隙去耦式短路开关

李银安 吴成 叶茂福 江德仪

陆龙龙 张宝珍 张敏生

(中国科学院物理研究所)

根据文献[1],我们研制了低气压间隙去耦式短路开关,并研究了其性能。

短路开关的结构如图1所示,由上、下两部分组成:上部是高气压间隙 G_b ,工作介质为 CO_2 ,压强在 $1-2.5 \text{ kg/cm}^2$ 之间;下部是低气压间隙 G_i ,工作介质是空气,压强为 20 mTorr 。间隙的电极材料是黄铜,端面镶有不锈钢。以汽车的火花塞作为 G_i 的触发极。整个开关用尼龙罩密封。

开关的工作原理可由图2加以说明。 G_i 被小电阻 R_1 短路,起动开关 G_i 导通后,在短路开关上出现的高电压主要由 G_b 承受。触发脉冲由充电电缆 I_1 终端间隙 G_i' 短路产生,并经由去耦电容 C_f 加到触发极上。 G_b 和 G_i 的击穿过程如下:当负载电流 I_1 达到极大值时,加在开关上的电位差 V_{ac} 接近零。若触发脉冲于此刻到达 b 点,上、下间隙电极间出现的电位差分别为 V_{ab} , V_{bc} 和 V_{bd} 。由于已调好 G_b 和 G_i 的工作条件,因此 G_i 的击穿形成时间比 G_b 的长,即 G_b 先击穿。 G_b 一经击穿, V_{ab} 几乎立即降为零。因而电极 c, d 之间出现高电位差 V_{cd} ,使触发极 d 和电极 c 之间的小间

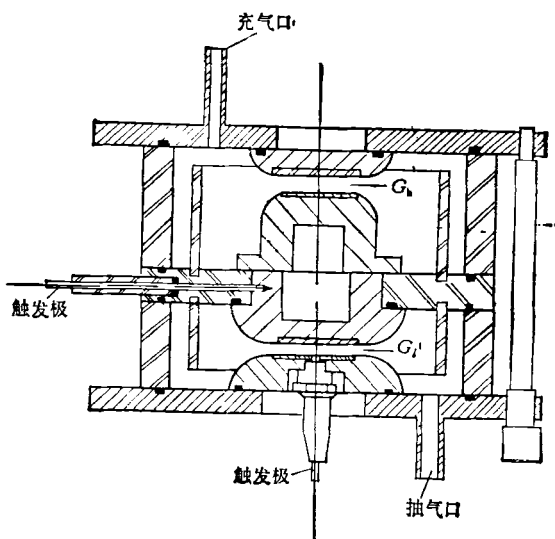


图1 低气压火花隙去耦式短路开关

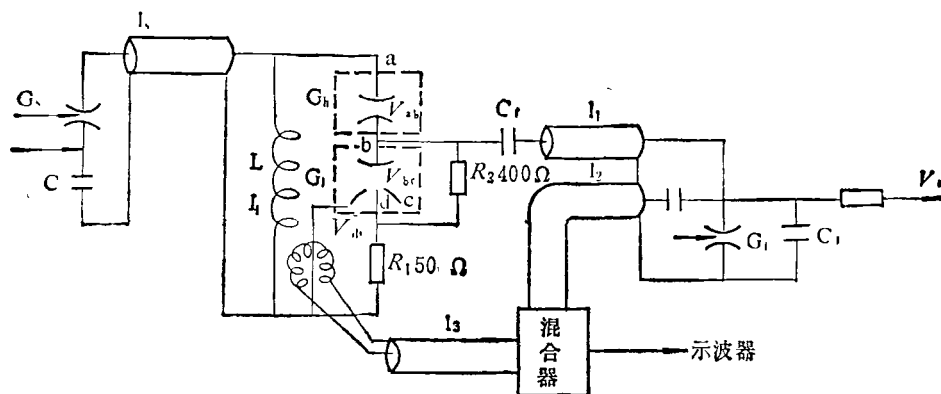


图2 短路开关的试验回路及触发系统

隙击穿,引起 G_i 导通,从而使整个开关导通,形成短路电流通路。若 G_i 先击穿,则触发脉冲将被短路, V_{bc} 迅速下降, G_b 不再导通,短路开关就不可能形成通路。

物理

一、性能测试

1. G_b 充 CO_2 , 可降低自击穿电压 V_{ib} 的分散度

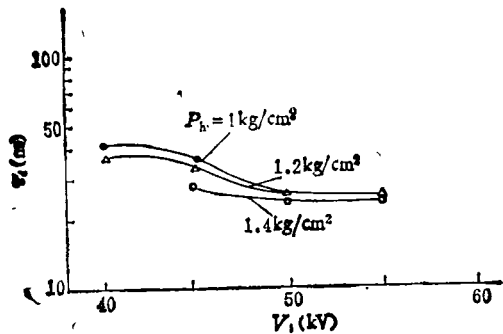


图3 不同 P_b 下 τ_d - V_i 关系

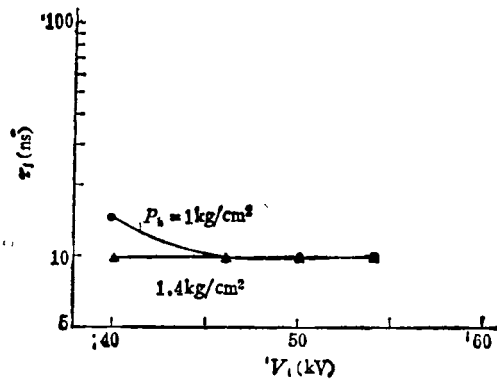


图4 不同 P_b 下 τ_1 - V_i 关系

V_{ib} 的平均值 \bar{V}_{ib} 与充气压强 P_b 有如下的关系:

$$\bar{V}_{ib}(\text{kV}) = 27P_b(\text{kg/cm}^2) + 6.$$

我们取开关的工作电压 $V_w \sim 0.7\bar{V}_{ib}$, 以保证开关工作的稳定性.

2. G_1 中压强 P_1 固定不变时, 在 G_b 中不同 P_b 下, 触发脉冲的电源电压 V_i , 与短路开关导通的延迟时间 τ_d 和分散时间 τ_1 的关系分别示于图3和图4. 由图3可见, P_b 不变时, τ_d 随 V_i 增大而减小. 这是因为 V_i 增加时, 其陡度相应增加, 因而 τ_d 减小. 但是, 当 $V_i \geq 50\text{kV}$ (相当于触发电压 81kV) 时, τ_d 趋于常数. 当 P_b 增加时, τ_d 有减小的趋势. 这一现象可能与 G_b 和 G_1 间隙的不同击穿机制有关. 在 P_b 增加后, V_i 必须增大才能击穿, G_b 的导通时间稍有延长, 但因 P_1 未变, G_1 的极间电压却增大了, 因而导通时间缩短. 如果后者占优势, 则开关总的导通延迟时间就要减小; 当两者相近时, τ_d 就趋于常数. 实验证实了这一现象. 当 V_i 和 P_1 一定时, 随着 P_b 的增加, G_b 的导通时间增加, 而 G_1 的导通时间减小.

图4表明, 当 $P_b > 1\text{kg/cm}^2$ 时, τ_1 基本上不随压强或触发电压的变化而变化.

3. 开关可在回路放电的第一或第二半周期的任何时刻触发导通且 τ_d 和 τ_1 无明显变化.

4. 在短路开关周围对称地连接6根同轴电缆的情况下测得的电感为 27nH , 电阻 R 随短路电流 I 的增大而减小, 近似的关系式为

$$R(\text{m}\Omega) = -0.09I(\text{kA}) + 16.6.$$

低气压间隙作去耦元件的短路开关, 借助单个触发脉冲可实现高气压间隙和低气压间隙的串级击穿. 开关的分散时间 $\tau_1 < 15\text{ns}$, 几乎不受气压的影响, 对触发脉冲陡度的要求也不高. 在放电的任何时刻, 均可完成短路通路, 且导通的延迟时间和分散时间无明显变化, 触发导通的工作范围接近100%, 短路开关的电阻随通过开关的电流增大而线性减小, 因而可期望在大电流条件下工作时, 负载电流的衰减将变慢. 用GBH-1的纵场线圈作负载时, 短路电流的衰减时间约 $150\mu\text{s}$, 纹波系数 $< 5\%$.

作者对刘赤子在机械加工方面的协助, 表示感谢.

参 考 文 献

- [1] 大井、平野, 电学誌, 93 B-6 (1973), 226.