

一种低电感场畸变型短路开关

吴为民 赖鸿强 孙建 李世明

(西南物理研究所)

在电容器放电的核聚变装置上,为使负载电感中能产生单极性的脉冲电流,常在负载电感旁并接一个短路开关^[1,2]。对这种短路开关的要求见文献[3]。

1. 开关结构

我们研制的短路开关的结构如图1所示。

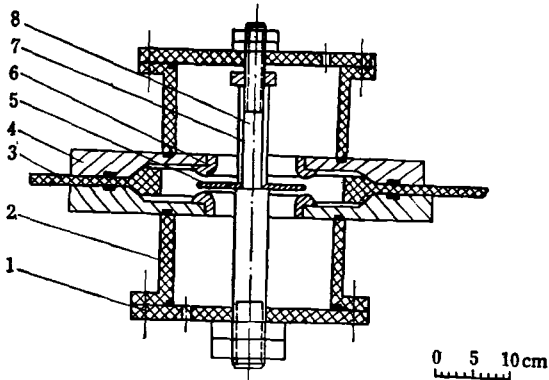


图1 短路开关结构

1. 盖板; 2. 绝缘筒; 3. 主绝缘板; 4. 电极板; 5. 触发电极; 6. 主电极; 7. 套管; 8. 固紧螺杆

该开关的主要特点如下:

- (1) 导电部分结构非常紧凑,从而使开关的电感很低,可达 20nH 左右。
- (2) 采用场畸变型间隙作开关间隙,动作性能较

好。这种开关既可作短路开关(当上下间隙距离的比值近似等于1时),也可作主放电开关(当上下间隙距离的比值大于1时)。

(3) 开关内充绝缘气体,调节气压即可改变其耐压性能。同时,由于开关上设有进出气孔,内部气体可经常更换,因而可保证开关耐压性能稳定。

(4) 开关绝缘筒内有足够的容积,所以它可在大能量(达 20kJ)下使用。

2. 开关的耐压性能

调节触发极的上下位置即可调节上下二间隙的大小。触发极与上下主电极间的间隙分别称为上间隙和下间隙。当开关充氮气时,在不同气压下,上下间隙的耐压情况如表1所示。

表1 开关间隙的静击穿电压 U_{br} (kV)

气压 (kg/cm^2)	1.3	1.5	1.8	2.0
上间隙 (kV)	19.1	22	24.5	27.6
下间隙 (kV)	21.1	23.5	25.5	31

由表1可知,要使开关耐 50kV 的直流电压,只要使开关内部气压 $\geq 1.9\text{kg}/\text{cm}^2$ 即可。

3. 开关的短路性能

我们按图2的线路对开关的短路性能作了试验。在图2中, C_M , G_M 和 L_r 构成主放电回路, G_s 为短

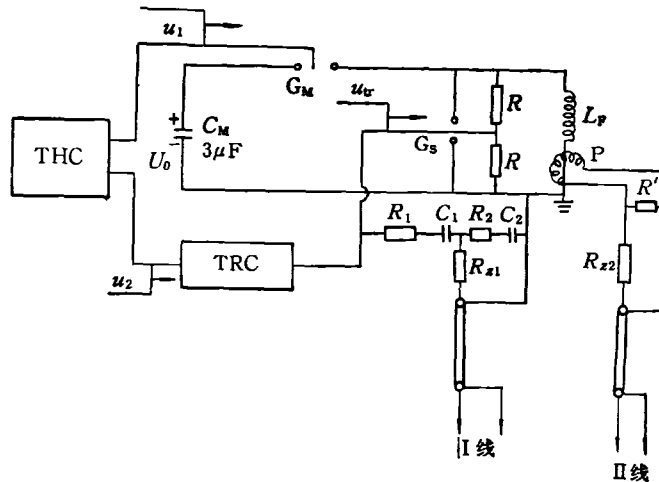


图2 测试开关短路性能的电路

路开关, THC 为闸流管电路^[4], TRC 为短路开关 G_s 的触发电路。

另外,用罗哥夫斯基线圈 P 测量 L_F 中的电流,用阻容分压器(由 R_1, C_1, R_2 和 C_2 构成)测量 G_s 中极(即触发极)的电位,测得的信号经同轴电缆送入双线圈示波器给以显示。

图 2 电路工作过程如下:首先由 THC 依次产生两个脉冲 u_1 和 u_2 (u_2 比 u_1 滞后的时间可任意调节),用 u_1 去启动 G_M 并引起主回路放电;过一定时间后, u_2 又使 TRC 工作,于是 TRC 产生触发电压 u_{tr} 送往 G_s 的触发极,在 u_{tr} 的作用下, G_s 被击穿短路。 G_s 短路性能的好坏,可以从 L_F 中电流的波形和中极电位的波形来判断。

试验结果如下(试验中 U_0 均为 38.8kV):

(1) 在不加 u_{tr} 时($u_{tr} = 0$)

这时 G_s 不短路,测得负载电流(即 L_F 中的电流)的波形如图 3 所示。

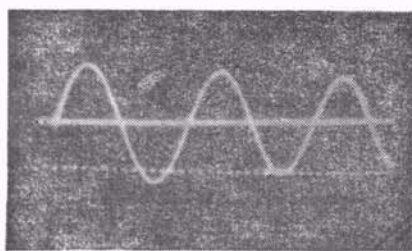


图 3 G_s 不短路时 L_F 中电流的波形(时标 1 μ s)

由图 3 可求得主回路振荡的周期 $T = 13.5\mu$ s。因为 $C_M = 3\mu$ F, 由此又可求得回路总电感 $L = 1.55\mu$ H。

(2) 加 u_{tr} 时

试验表明, G_s 的短路性能与 u_{tr} 的波形(幅值、前沿陡度等)及 u_{tr} 加到 G_s 上去的时刻有密切的关系。

(i) 在 u_{tr} 不变时(此时 $u_{tr} = -84$ kV, $\frac{du}{dt} = 2$ kV/ns), 改变 u_{tr} 加到 G_s 上去的时刻 t_s (t_s 以主电流起始点作零点), 我们观察到: 在 $t_s = \left(\frac{3}{10} - \frac{5}{10}\right)T$ 的范围内, G_s 每次均能准确短路, 而且短路时刻的分散性不大于 0.5μ s, 波形见图 4。

而当 $t_s < \frac{3}{10}T$ 时, 短路时刻的分散性就大大增加, 甚至不能发生短路。

(ii) 在 t_s 不变时, 若改变 u_{tr} , 我们观察到, 当 u_{tr} 的幅值和前沿陡度上升时, G_s 的短路性能就变

物理

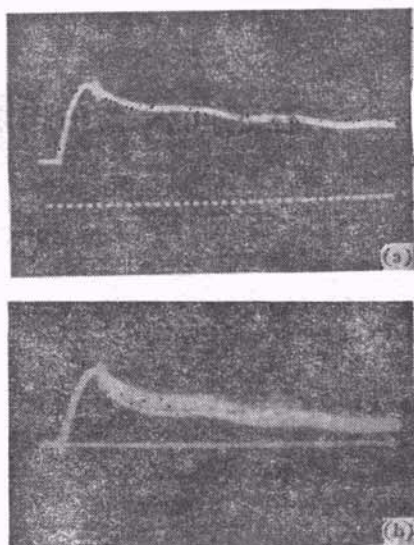


图 4 G_s 短路时 L_F 中电流的波形 ($t_s = \frac{3}{10}T$)

(a) 时标 1 μ s, 单次放电; (b) 扫描同 (a), 连续 10 次放电重迭拍在一起

好, 而当 u_{tr} 作相反变化时, 则 G_s 的短路性能也就变坏。

综上所述, 可知这种短路开关在 $t_s = 3/10T$ (此值接近于 $1/4T$) 附近可以实现 100% 的短路, 且短路时刻的分散性远远小于 $T/2$ 。因此, 短路性能可以完全满足装置要求。

4. 开关的电感、电阻、通流容量和寿命

经过测量, 测得该开关的电感 $L_{G_s} = 19.4$ nH, 电阻 $R_{G_s} = 6-14$ m Ω 。这些参数与文献[5]所报道的指标相近, 甚至有所超过。

5. 短路开关的触发电路

为了能产生幅值高、前沿陡的触发波形, 我们专门研制了一种双电缆四倍压脉冲发生器(即图 2 中的 TRC), 其输出波形的前沿上升时间为 40 ns, 脉宽为 250 ns, 波形的幅值为 -95 kV。

试验表明, 这种触发电路性能良好, 其输出脉冲完全满足 G_s 动作可靠的要求。

参 考 文 献

- [1] R. Wilhelm, H. Zwicker, *Zeitschrift für Angewandte Physik*, 19(1965), 428—431.
- [2] 胡建芳等, 物理, 13-2 (1984), 88.
- [3] J. Grubor, G. Müller, *IPP4/27*, 1965 年 8 月.
- [4] 吴为民、孙建、李世明, 核聚变与等离子体物理, 1 (1983), 52.
- [5] Shiro Kitagawa and Kei-ichi Hirano, *IPPJ-T-20*, 1974 年 4 月.