

文章编号: 1001—4322(2001)03—0338—03

充等离子体微波源高压电源的撬棒保护

蒙 林, 黎晓云, 谢文楷, 鄢 杨, 刘盛纲

(电子科技大学高能所, 成都 610054)

摘 要: 充等离子体高功率微波源——PASOTRON 的高压直流电源工作电压为 $-70\text{ kV} \sim -150\text{ kV}$ 、电流为 300 A 左右, 而调制器又悬浮于此高压上工作(电流为 60 A , 脉宽 $60 \sim 120\mu\text{s}$)。在工作中, 一旦出现管子打火, 很容易打坏管子、高压直流电源、调制器或控制柜的电路模块。因此, 其控保系统就显得尤为重要。为此采用一种专门研制的高压撬棒, 利用简单的自触发电路, 达到了满意的保护效果。实验证明, 从管子打火到撬棒管作出分流仅滞后 150 ns , 可以分流掉滤波电容中 98% 以上的储能, 工作稳定可靠。

关键词: 撬棒; PASOTRON; 调制

中图分类号: TN 128; TN 136

文献标识码: A

在 PASOTRON^[1](等离子体辅助慢波振荡器)的高压直流电源中, PASOTRON 的电子枪阴极与加速阳极片间须加几十 kV 的电压, 而直流电源的滤波电容为 μF 量级, 因此其储能是很大的。在工作中, 一旦出现管子打火, 滤波电容器中的全部储能将在瞬间通过打火部位短路, 很容易打坏管子、高压直流电源、调制器或控制柜的电路模块。在实际的实验中, 这一点已得到证实。因此, 为达到保护系统的目的, 需在高压电源的输出端加上高压撬棒, 起“快速短路器”的作用。这样, 绝大部分的电流通过撬棒回到地。为此我们利用国内已有的高压撬棒管, 制作了撬棒保护电路。实验结果表明, 其工作正常, 达到了设计要求。

1 工作原理

在 PASOTRON 中, 电子束由空心阴极电子枪气体放电产生, 由调制器给电子枪提供放电所需的电压。电子束由加在电离阳极和加速阳极间的直流高压加速到所需的能量, 使之能与相互作用段的微波有效地相互作用, 产生高功率微波。管子、调制器和直流高压电源的原理见图 1。调制器是悬浮在高压直流电源的高压上的。高压撬棒其实是一个冷阴极触发管, 它由触发极、与其相邻电极和与其相对的电极组成。管壳采用陶瓷封装连接, 管内充以高压绝缘气体。无触发脉冲时, 在其两端所加的高压有近乎理想的绝缘。一旦被触发, 撬棒快速成为低阻抗元件而传导上百 kA 的电弧电流。

图 1^[2]为撬棒保护的工作原理图, 这其实只是撬棒管保护工作方式的一种, 即自触发保护工作方式。其保护过程如下: 当 PASOTRON 或高功率微波器件打火时, 打火部位内阻几乎为 0, 电容 C_2 的储能立即通过打火部位放电, 在 R_3 的两端产生一个高电压脉冲, 使撬棒管的触发极启动, 撬棒管迅即击穿, 直流电源高压滤波电容 C_1 上的大部分能量即被旁路, 从而保护了微波管、高压直流电源与调制器的电路模块。采用此种工作方式的好处是电路十分简单, 反应灵敏, 从管子的打火到作出分流, 仅仅是撬棒管的延迟时间而已 ($120 \sim 150\text{ ns}$)。此外, 另一个好处是它不会产生误动作, 因为在这种工作方式, 撬棒管

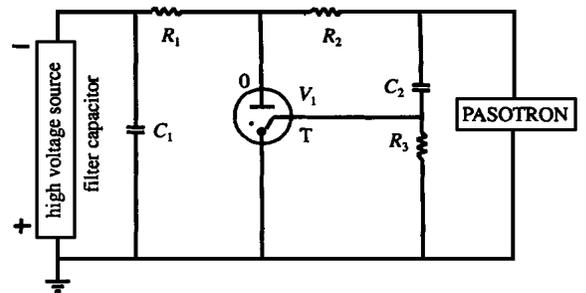


Fig 1 Electrical schematic of crow bar protection
图 1 撬棒保护的工作原理图

的触发信号电压幅值在 10kV 以上, 不会受干扰信号的影响而动作。

在实际的电路设计中, 图 1 中各元件的取值为: $R_1 = 10\Omega, R_2 = 30\Omega, R_3 = 2720\Omega, C_1 = 0.42\mu\text{F}/180\text{kV}, C_2 = 0.004\mu\text{F}/100\text{kV}$ (撬棒管提供方建议 $R_1 = R_2 = 1/3$)。如高压电源的工作电压为 $U = 40\text{kV}$, 则 C_1 上的总储能为 $(1/2)C_1U^2 = 336\text{J}$ 。该电路的时间常数为 $\tau = (R_1 + R_2)C_1 = 16.8\mu\text{s}$ 。在管子打火瞬间, 滤波电容 C_1 上的电压遵循公式 $U_c = U \exp(-t/\tau)$ 变化, 如果撬棒管在打火后延迟 150ns 才动作, 将 $t = 150\text{ns}$ 代入上式, 可得撬棒管导通时在 C_1 上的剩余电压为 $U_c = 40 \exp(-0.15/16.8) = 39.6\text{kV}$ 。换言之, 98% 以上的剩余能量可通过撬棒回路分流掉, 实际流过打火部位的能量只有不到 2%, 不致于导致管子或电源控制柜电路模块的损坏。如前所述, C_2 的容量很小, 因此其储能和附加流过打火部位的能量与 C_1 相比可以忽略不计。

2 实验结果及分析

图 2 为实际撬棒保护电路的照片。在实验中为了检测打火后流过管子和撬棒的电流, 我们在图 1 的电路中, 在撬棒管到地之间串联一个 $75\text{mV}/1000\text{A}$ 的交流分流器 (分流器 1), 在管子到地之间串联一个 $75\text{mV}/50\text{A}$ 的交流分流器 (分流器 2)。用示波器检测分流器 1 和 2 之间的电压, 即可知道打火后流过撬棒和管子的能量比例。图 3 为分流器 1 的照片。为了模拟实际的放电及撬棒保护过程, 我们在直流电源

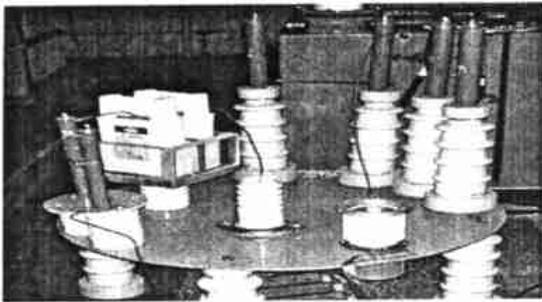


Fig 2 Photograph of crowbar circuit protection
图 2 撬棒保护电路照片



Fig 3 Photograph of current divider
图 3 交流分流器照片

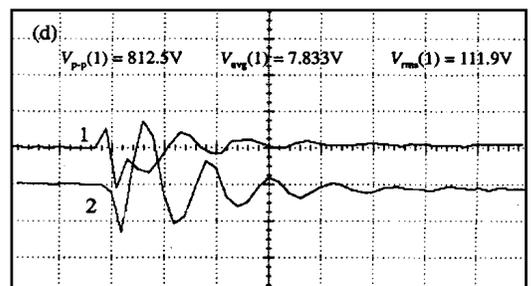
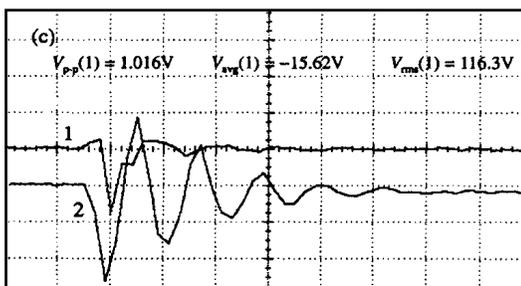
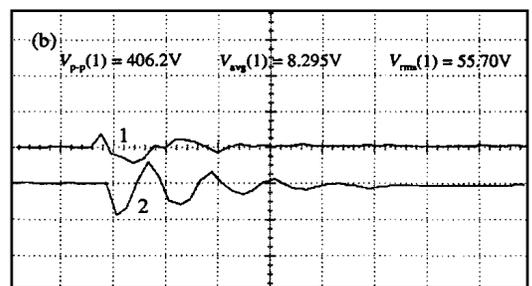
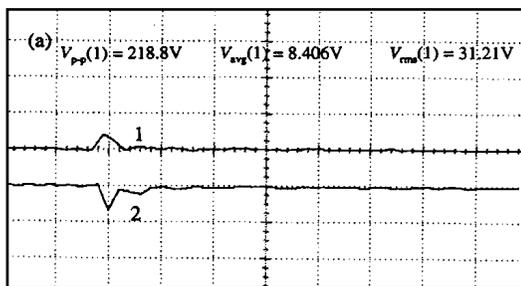


Fig 4 Waveform on current divider at $U = 10\text{kV}$ (a), 20kV (b), 30kV (c), 40kV (d)
图 4 $U = 10\text{kV}$ (a), 20kV (b), 30kV (c), 40kV (d) 时分流器上的波形

加压到需要的值后,用与地相连的放电棒与管子的高压端接触放电,通过示波器检测分别流过管子和撬棒管的电流。然后检查管子、电源及调制器是否损坏。

图 4 为 $U = 10\text{kV}$ (a)、 20kV (b)、 30kV (c)、 40kV (d) 时,放电后由分流器 1 (对应于图中波形 1) 和 2 (对应于图中波形 2) 两端测得的电压波形。注意到示波器上分流器 1 和 2 之间相同的压降对应于 20 倍的电流。因此,由图可知,流过撬棒管的电流与流过管子的电流之比大约为 15:1,亦即当发生短路时,绝大部分的能量通过撬棒管分流掉。最重要的一点,原来出现这种情况时,很容易打坏高压电源控制柜的控保电路,在使用撬棒保护后,这种情况已不再出现,达到了保护的目的。在以后的实验中也证实了撬棒保护电路对管子 and 高压电源及调制器的保护作用。

3 结 论

通过采用撬棒保护电路,我们实现了管子打火时对管子和高压电源的保护。实践证明该系统工作可靠,达到了设计要求。

参考文献:

- [1] Goebel D M, Butler J M, Schumacher R W, et al High-power microwave source based on an unmagnetized backward-wave oscillator[J]. *IEEE-T ran, PS*, 1994, **22**(6): 547-553
- [2] 杨光培 高电压撬棒[J]. *真空电子技术*, 1998, (5): 54-58
[Yang G P. High voltage crow bar. *Vacuum electronics*, 1998, (5): 54-58](in Chinese)
- [3] Ponti E S, Goebel D M, Feicht J R, et al PA SOTRON™ amplifier experiments[A]. *SPIE[C]* 1995, **2557**: 60-69
- [4] Goebel D M, Schumacher R W, Eisenhart R L. Performance and pulse shortening effects in a 200-kV PA SOTRON HPM source [J]. *IEEE-T ran PS*, 1998, **26**(3): 354-365
- [5] Yang J H, Zhang Y Z, Liu J L. The design and test of a compact hydrogen plasma gun system [J]. *High power laser and particle beams*, 2000, **12**(4): 442-446
- [6] Goebel D M, Ponti E S, Feicht J R, et al PA SOTRON high-power microwave source performance [A]. *Proc SPIE Intense Microwave Pulses IV [C]* 1996, **2843**: 69-78
- [7] 李家胤, 于善夫, 孙嘉鸿, 等. 3cm 相对论返波管的实验研究[J]. *强激光与粒子束*, 1992, **4**(2): 269-276
[Li J Y, Yu S F, Sun J H, et al Experimental research on 3cm relativistic backwave oscillator. *High power laser and particle beams*, 1992, **4**(2): 269-276](in Chinese)
- [8] Zhai X, Grate E, Prohaska R, et al Experimental study of a plasma-filled backward wave oscillator[J]. *IEEE-T ran PS*, 1993, **21**(1): 142-150

Crowbar circuit protection of high voltage power supply of plasma filled HPM source

M EN G L in, L I X iao-yun, X I E W en-kai, Y AN Yang, L I U Sheng-gang

(*High Energy Electronics Institute, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China*)

Abstract The operation voltage of high voltage DC power supply of plasma filled high power microwave source-PA SOTRON is from - 70kV up to - 150kV, the total current is about 300A, while the modulator (current 60A, pulse width 60~ 120 μ s) is operating suspended on the HV-DC. In practice, if the strike arc occurs, there is a strong potential to destroy the microwave tube, high voltage DC power supply, modulator or/and modular circuit of the system. The protection system of the power supply, therefore, plays an important role in the operation of system. The special designed HV crowbar and a simple self-triggering circuit is applied, and a satisfied protection result is achieved. The experiments show that, 98% of the energy of the filtering capacitor would be bypassed by the crowbar after 150ns of the strike arc.

Key words crowbar; PA SOTRON; modulation