

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 kV ~ - 150kV、电流为 300A 左右, 而调制器又悬浮于此高压上工作(电流为 60A, 脉宽 60~ 120 μ 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 150ns, 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 μ F 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。

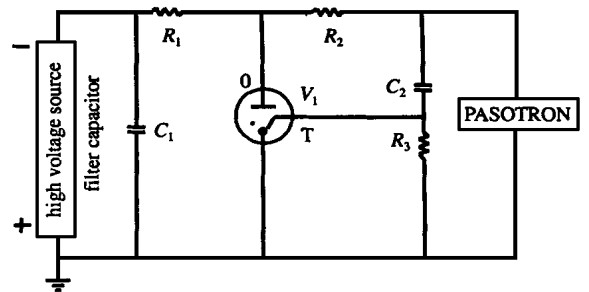


Fig 1 Electrical schematic of crow bar protection
图 1 撬棒保护的工作原理图

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~ 150ns)。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

收稿日期: 2000-10-08; 修订日期: 2001-03-12
基金项目: 国家 863 高技术、电子部军事预研和四川省跨世纪人才工程项目资助课题
作者简介: 蒙 林(1964-), 男, 博士, 副教授, E-mail: meng@uestc.edu.cn

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% 以上的剩余能量可望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

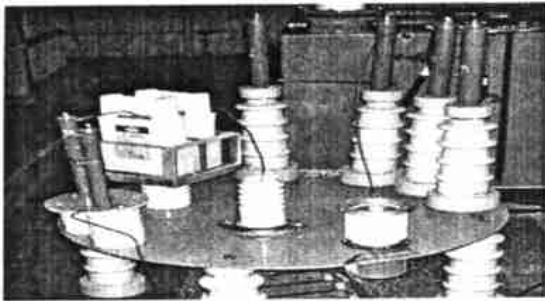


Fig 2 Photograph of crowbar circuit protection
图 2 撬棒保护电路照片



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

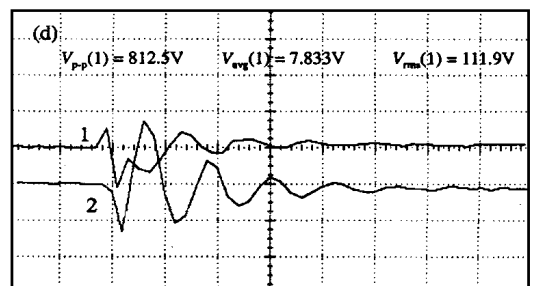
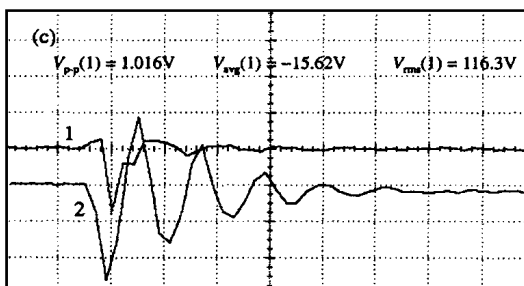
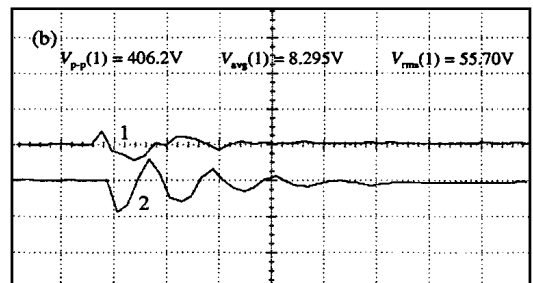
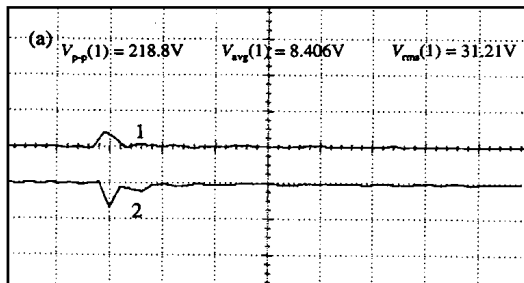


Fig 4 Waveform on current divider at $U = 10\text{kV}$ (a), 20kV (b), 30kV (c), 40kV (d)
图 4 $U = 10\text{kV}$ (a), 20kV (b), 30kV (c), 40kV (d) 时分流器上的波形

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和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