

调制器型加速器的波形整形

陈洪斌^{1,2,1)} 常安碧² 甘延青² 周传明³ 孟凡宝²

1 (中国工程物理研究院研究生部 北京 100088)

2 (中国工程物理研究院应用电子学研究所 绵阳 621900)

3 (中国工程物理研究院科技委 绵阳 621900)

摘要 提出用火花隙开关法对调制器型加速器的输出波形前后沿进行锐化的方案,给出了锐化电路中的电容器电容值的确定和火花隙开关的设计.在已研制的脉冲调制器型加速器上进行了实验研究,实验中得到输出电压 500kV、脉宽 900ns、前沿时间 80ns、后沿时间 100ns 的近似矩形的脉冲波形,并进行了 1Hz 重复运行实验.

关键词 调制器型加速器 脉冲变压器 火花隙开关 脉冲形成网络

引言

调制器型宽脉冲加速器通常采用人工线形成脉冲,脉冲经变压器升压后加到二极管中产生宽脉冲电子束.由于脉冲变压器的响应特性、磁滞非线性特性和涡流损耗^[1]等因素的影响,使得人工线形成的近似矩形的脉冲经变压器后前沿变宽.而在绝大部分实际应用中要求信号前沿越小越好.例如,为提高高功率微波器件的工作特性和效率,要求上升前沿越小越好^[1,2];对于加速器本身提高电压波形前沿可改善二极管工作特性,提高发射电子束的质量^[2,3].因此,对加速器信号前后沿进行锐化具有十分重要的意义.

对脉冲信号的前沿锐化方法很多,比如等离子开关法^[4,5]、含非线性电容或非线性电感的均匀传输线法^[6,7]、磁开关法^[8]、火花隙开关法等,各有其优缺点,根据已研制加速器的参数和具体情况,采用火花隙开关法锐化前沿较好,这种锐化电路由高压电容器和火花隙开关组成,电路结构简单,元件少,锐化效果好,而且在顾及前沿的同时还可以通过优化锐化电容值和改善开关导通时间来改善脉宽.

1 实验工作原理

实验原理框图如图 1.工作原理:控制与触发电路产生第一路触发信号触发充电可控硅,使高压直流电源通过充电电感对脉冲形成网络充电,当充电到预定电压后处于等待状态,由控制与触发电路发出第二路触发信号触发气体开关 S1,使 Blumlein 线一端短路,在 Blumlein 线中形成近似矩形的脉冲信号,经过脉冲变压器升压后对用于锐化的电容器充电,当充电到锐化电路中的火花隙开关 S2 的自击穿电压时,开关 S2 导通,信号传递到二极管.经过一定的时间延迟,控制与触发电路发出第三路触发信号触发用于后沿锐化的火花隙开关 S3, S3 导通二极管短路.

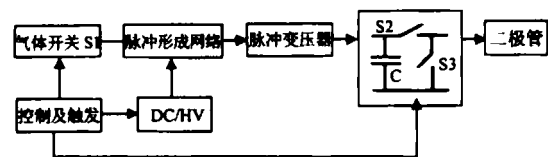


图 1 实验原理图

2002-09-09 收稿, 2003-01-27 收修改稿

1) E-mail: chen-hongbin1971@yahoo.com.cn

2 锐化电容值的确定

将初始状态等效为输入信号,将次级回路等效到变压器初级,得到实验等效电路如图 2,电路方程如下:

$$\begin{aligned} i_1(sL_1 + sL'_3 + r_1 + R_0) - sL'_3 i_2 &= \\ F(s) + L_1 i_{L_1} + L'_3(i_{L_1} - i_{L_2}); \\ sL'_3 i_1 + i_2(sL'_2 + sL'_3 + r'_2 + 1/sc') - \\ i_3/sc' &= L'_2 i_{L_2} - V_{c0}/s - L'_3(i_{L_1} - i_{L_2}); \quad (2) \\ i_2/sc' + i_3(R' + sL'_R + 1/sc') &= \\ V_{c0}/s + L'_R i_{L_R}. \quad (3) \end{aligned}$$

$i_{L_1}, i_{L_2}, i_{L_R}$ 分别为电感 L_1, L'_2 和 L'_R 的初始电流, V_{c0} 为电容 C' 的初始电压.

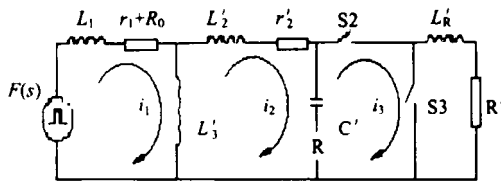


图 2 实验等效电路

锐化原理:在开关 S2 导通前,脉冲变压器输出对电容器 C 充电,充电到开关自击穿电压,开关 S2 导通,由于电容器两端电压不能跃变,因此,开关导通瞬间,二极管电压等于电容器两端的电压,二极管的能量由脉冲形成线通过变压器供给。在理想情况下,当变压器输出的电流与二极管阻抗乘积高于电容器两端电压时,变压器输出分两部分:一部分供给二极管产生电子束,另一部分给电容器继续充电,开关导通后,二极管电压值将在导通瞬间电压值基础上继续上升。相反,当变压器输出的电流与二极管阻抗乘积低于电容器两端电压时,变压器输出和电容器一起供能给二极管产生电子束,二极管电压值将在导通瞬间电压值基础上下降。从上可知:为使波形前沿时间变小又能使波形具有一定的平顶,开关导通瞬间,要求变压器输出电流(即电容器通过的电流)与二极管阻抗的乘积等于电容器两端电压,此时,变压器输出与电容器互补给二极管供能。

通过选择电容器值以满足开关导通瞬间,电容器两端的电压等于流过电容器的电流与二极管阻抗的乘积。根据已有的 500kV 调制器型加速器的参数确定开关 S2 导通瞬间电容器的状态为:电压 450—

500kV,电流 3.0kA,变压器变比为 1:5,折合到变压器初级后 S2 导通瞬间电容器的状态为:电压:90—100kV,电流 15.0kA。在实验中,通过调节开关的间隙距离和开关填充的气体压强来满足由电路参数确定的导通时刻。经过对电容器值的大量选取得到电容器电容值为 10.2nF 时,满足开关 S2 导通的状态条件,计算波形如图 3。

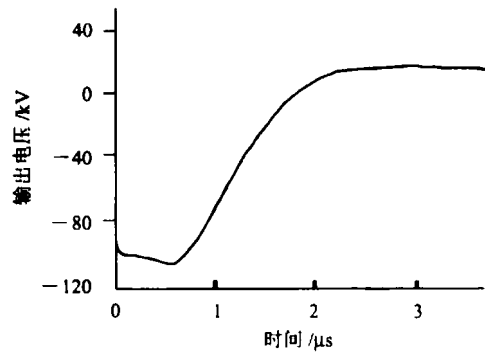


图 3 电容值为 10.2nF 的计算波形

3 火花隙开关的设计

多间隙开关和单间隙开关相比:在相同工作电压下,前者间隙具有较好的均匀场分布,在相同长度下,前者具有更高的击穿场强,从体积上前者更短,采用多间隙可使开关小型化,根据锐化条件,用于前沿锐化的火花隙开关 S2 采用三间隙开关,其间隙均为 9mm,而且每一个间隙调节范围为 0—5mm,开关总长为 217mm,电极采用环状设计,以有利于减小开关电感,开关内充 N_2 。

用于后沿锐化的火花隙开关采用单间隙外触发火花隙开关,内充六氟化硫气体,采用环状电极,间隙距离 2.5cm,可调范围 1cm。将组装好的 2 个开关在已有的开关实验平台上进行了老练实验。

4 实验结果

实验中采用的脉冲变压器铁心是 0.05mm 冷轧硅钢片。电容器的电容值为 10.7nF,脉冲形成网络充电 100kV,开关 S2 间隙均为 9.0mm,充 4.052×10^5 Pa N_2 时,二极管波形如图 4。开关 S2 的充气压强直接影响二极管输出波形的前沿时间,随着气压压强的增大,开关 S2 的击穿电压升高,波形的前沿上升时间变小,输出波形的脉冲宽度也变小,开

关气压压强对波形前沿上升时间的锐化有明显的影响. 在充气压强为 $4.052 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时, 锐化效果较好, 随气压压强的进一步升高, 输出电压和电流的幅值变大, 脉宽变小, 输出波形的前沿时间变化较小. 为了有利于输出波形后沿的锐化, 选取 S2 开关的气压稳定在 $4.052 \times 10^5 \text{ Pa}$ 工作.

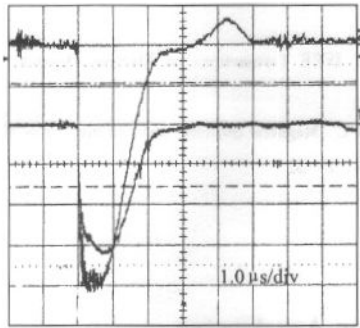


图 4 $4.052 \times 10^5 \text{ Pa N}_2$ 锐化后波形
上为电压波形, 下为电流波形.

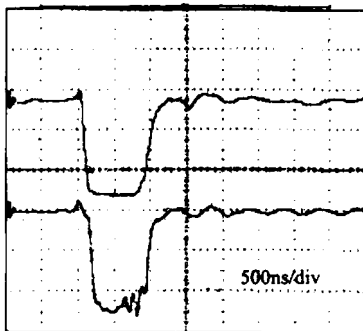


图 5 前后沿锐化后二极管波形
上为电压波形, 下为电流波形.

在对前沿锐化的基础上, 对后沿进行了锐化. 用 30kV 电容器和 35kV 闸流管放电形成的脉冲信号触发小 MARX, 由小 MARX 产生的高压脉冲信号触发用于锐化后沿的火花隙开关 S3, S3 开关充六氟化硫气体, 通过调节 S3 开关的充气气压以防止开关自

击穿和外触发的稳定性. 经过多次实验, 最后选取 S3 开关工作在 $1.722 \times 10^5 \text{ Pa}$ 条件下. 实验结果二极管得到近似矩形方波的波形, 波形如图 5. 通过控制由控制与触发电路发出的触发信号的时间延迟可调节二极管的输出波形的脉冲宽度.

在二极管波形的前后沿锐化后, 对整个加速器系统进行了 1Hz 重复实验, 重复实验二极管波形如图 6.

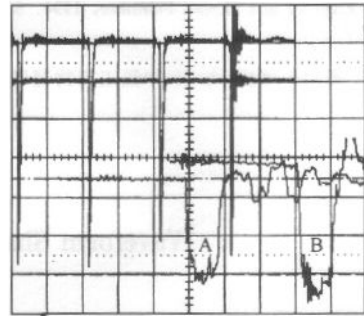


图 6 1Hz 运行波形
A 和 B 为展开的电压和电流波形.

5 结论

从实验结果可看出:

- 1) 用火花隙开关锐化波形前后沿是行之有效的, 锐化效果明显;
- 2) 通过调节控制与触发电路第三路触发信号的输出时间可调节加速器二极管的输出脉冲宽度;
- 3) 得到脉冲电压 500kV、脉冲宽度 900ns、前沿 80ns、后沿 100ns 的近似矩形的脉冲波形;
- 4) 进行 1Hz 重复运行实验, 证明了锐化电路的重复性能.

在本工作开展过程中, 张德泉副研究员给予指导并提出很多宝贵的意见, 马乔生, 康强, 谭杰以及五室全体同行给予了很多帮助, 在此表示感谢.

参考文献 (References)

- 1 WANG Rui-Hua. Design of the pulse transformer. Beijing: Science Publisher, 1996. 4—70(in Chinese)
(王瑞华. 脉冲变压器设计. 北京: 科学出版社, 1996. 4—70)
- 2 Komelev B И. Relativistic Multiwave SHF Generator. Mianyang: Translated by China Academy of Engineering Physics, 1994. 74—83 (in Chinese)
(布加耶夫 谢彼. 相对论多波超高频发生器. 绵阳: 中国工程物理研究院译, 1994. 74—83)
- 3 James B et al. High Power Microwave. Mian Ying: Translated by China Academy of Engineer and Physics Publisher, 1994. 80—100(in Chinese)
(詹姆斯等. 高功率微波. 绵阳: 中国工程物理研究院译, 1994. 80—100)
- 4 LIU Xi-Shan. The Decade Selected Works of High Pulsed Power in China. Mianyang: Academy of Particle Accelerator in China, 1995. 163—217(in Chinese)
(刘锡三. 全国高功率离子束十年文集. 绵阳: 中国粒子加速器学会, 1995. 163—217)
- 5 ZHANG De-Quan. High Power Laser and Particle Beams, 1989, 1(2): 151—156(in Chinese)
(张德泉. 强激光与粒子束, 1989, 1(2): 151—156)
- 6 Colin R et al. IEEE Transactions on Electron Devices, 1991, 38(4): 210—215
- 7 Miles M T. IEEE Transactions on Electron Devices, 1991, 38(4): 200—205.
- 8 Nunnally W C. Magnetic Switches and Circuits. New Mexico: Academic Press. 1994. 1—33

Waveform Sharpening of the Modulator Accelerator

CHEN Hong-Bin^{1,2,1)} CHANG An-Bi² GAN Yan-Qing² ZHOU Chuan-Ming³ MENG Fan-Bao²

1 (Graduate School of China Academy of Engineering Physics, Beijing 100088, China)

2 (Institute of Applied Electronics, CAEP, Mianyang 621900, China)

3 (Department of Science and Technology, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract The method which used the spark gap switch to sharpen the output of the modulator accelerator was presented. Through experiments on the pulse modulator accelerator, a rectangular-like waveform with voltage 500kV, pulse width 900ns, rising edge 80ns, trailing edge 100ns is obtained, and repetitive reliable operation is performed at the frequency of 1Hz.

Key words modulator accelerator, pulse transformer, spark gap switch, pulse forming network

Received 9 September 2002, Revised 27 January 2003

1) E-mail: chen-hongbin1971@yahoo.com.cn