

文章编号: 1001-4322(2007)06-0997-04

闪光二号加速器气体主开关同步触发系统*

杨 莉, 程 亮, 黄建军, 来定国, 任书庆, 张玉英, 张永民

(西北核技术研究所, 西安 710024)

摘 要: 设计并调试了闪光二号加速器气体主开关同步触发系统。该系统主要由同步控制部分和高压脉冲形成部分构成。整个触发过程包括同步信号的引出、整形滤波、快速比较电路传输、前级脉冲形成、高压脉冲产生。通过对同步信号的整形处理, 解决了发生器电流上的高频信号干扰问题; 经过快速比较电路和前级脉冲后, 选取了同步信号开始工作的时间点, 并形成十几 V 的触发信号; 高压脉冲形成部分主开关采用场畸变结合预电离的方式, 该结构的气体开关时间响应为 50 ns, 抖动小于 5 ns, 满足使用要求。调试结果表明, 该系统输出脉冲电压幅值 100 kV, 前沿小于 10 ns, 系统的工作时延 440 ns, 抖动 13.5 ns; 可通过增加电缆长度来控制触发信号到达气体开关的时刻, 实现气体主开关与 Marx 发生器的延时同步工作。

关键词: 同步触发; 触发器; 多级多通道气体开关; 强流脉冲电子束; 加速器

中图分类号: TN782 **文献标识码:** A

随着脉冲功率技术的不断发展, 已实现多台 TW 级强流脉冲电子束加速器并联运行以获得更高功率^[1-2]。同时在单台加速器上采用多根水线并联组成低阻抗形成线, 采用多只多级多通道气体开关并联作为主开关在国外已得到成功应用^[3]。多级多通道气体开关一般需要外加触发脉冲, 以保证多个开关的同步运行, 这就对触发器提出了较高的要求, 即触发器要有较小的抖动和较大的触发范围。

闪光二号加速器现采用 3 根水线形成线, 每根水线形成线采用 1 个 MV 级多级多通道气体开关^[4], 为确保 3 个气体开关同时动作, 需要在气体主开关与 Marx 发生器之间实现延时同步触发。主开关工作电压一般选在 Marx 发生器对形成线充电电压幅值的 90%~95%。为保证加速器工作的稳定性, 需要选择合适的同步触发系统以实现主开关与 Marx 发生器的延时同步工作。根据 Marx 发生器对形成线充电时间和气体主开关对触发电压的要求, 我们提出同步触发系统输出触发电压幅值 100 kV、前沿 10 ns、同步触发系统延时小于 800 ns 的设计目标。

1 同步触发系统

根据闪光二号加速器的工作过程及多级多通道气体主开关的工作要求, 本套同步触发系统设计由同步控制部分和高压脉冲形成部分组成, 见图 1。

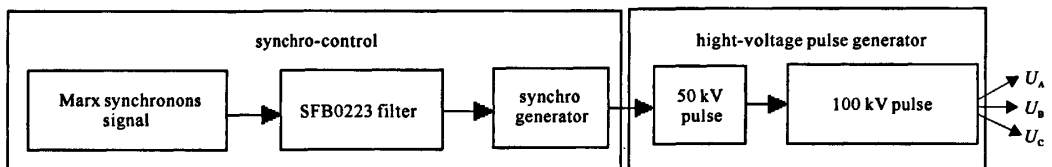


Fig. 1 Schematic of synchronized trigger generator

图 1 触发系统

同步控制过程包括同步信号的获取、整形处理、快速比较电路和前级快脉冲的形成; 高压脉冲形成部分主要由三级逐级放大触发系统构成, 其最后一级采用气体开关(输出 100 kV 高压脉冲)。整个系统的工作过程是: 获取 Marx 发生器对形成线充电信号, 对该信号进行滤波整形, 根据设置的比较电位并通过比较电路获得形成线开始充电后 60 ns 的时间点, 比较电路输出信号触发前级触发电路, 前级触发脉冲触发高压脉冲触发器, 最后由高压脉冲触发器触发气体主开关。

* 收稿日期: 2006-12-30; 修订日期: 2007-04-01
作者简介: 杨 莉(1976—), 女, 硕士研究生, 从事脉冲功率技术研究与应用, yangli7647@163.com.

2 同步触发系统的设计及测试

2.1 同步控制部分

2.1.1 同步信号的获取和整形处理

同步信号选取 Marx 发生器放电电流,避免了因发生器抖动过大带来的系统的抖动。同步信号的提取采用微分型罗可夫斯基线圈,线圈安装在 Marx 发生器接地线的回路中。由于 Marx 放电电流上叠加有许多高频信号,为使后面的同步机不会由于干扰信号而误动作,需要对同步信号进行整形处理。通过对同步信号的分析,采用 SFBL0223 型 LC 滤波器对同步信号进行滤波,滤波后信号畸变较小,且比较光滑。图 2 是发生器放电原始信号和滤波后的信号波形,从图中可以看出经滤波处理后信号比较光滑。

2.1.2 比较电路及前级快脉冲形成

同步信号整形处理后,要选取一个时间点作为同步信号的工作起点,因此需要选用一个快响应的电压比较器,使同步信号达到比较电位时开始工作,经调研我们选用 J630 快速电压比较器(时间响应小于 50 ns)。经比较电路后需要输出一个十几 V 的脉冲信号作为高压脉冲形成部分的前级。图 3 是比较电路和前级脉冲形成,即同步机的电路图。

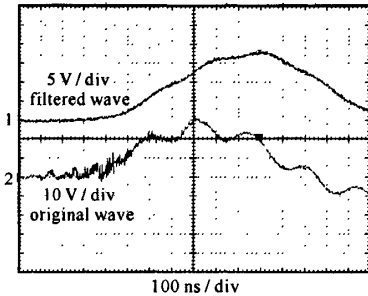


Fig. 2 Original and filtered current of Marx

图 2 发生器原始信号和整形处理后的电流波形

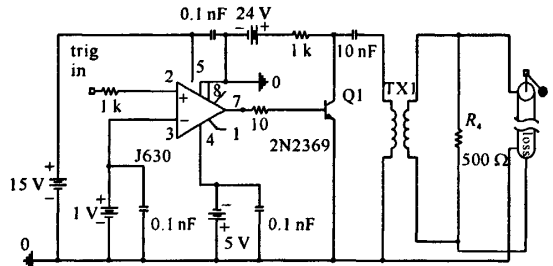


Fig. 3 Circuit of synchro generator

图 3 同步机电路

2.2 100 kV 高压脉冲形成部分

2.2.1 原理和结构

高压脉冲形成部分封闭在 SF₆ 气腔里,开关采用三电极气体开关,它的工作原理如图 4 所示:由负直流电源给主电容器 C 的一端充电,然后由一路 50 kV 触发脉冲通过一个隔离小间隙引燃开关的触发极,开关导通后从主电容 C 的另一端输出 3 路与充电电压极性相反的高压脉冲,用以引燃 MV 级气体开关。为保证 3 个开关能够击穿,经计算,我们采用 100 kV/80 nF 的电容器,输出能量为 400 J。脉冲输出采用 3 根 250 kV 高压电缆,将触发信号馈送到 3 个气体主开关的触发极。为保护电容,输出端并联 1 个 50 Ω 的膜电阻作为匹配电阻。

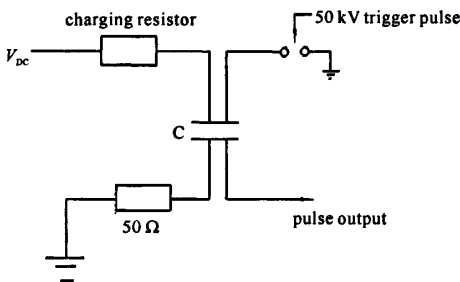


Fig. 4 Principle of HV pulse generation

图 4 高压脉冲形成原理

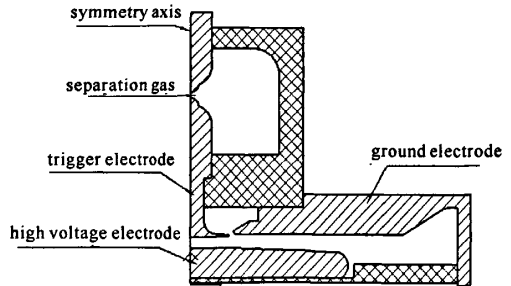


Fig. 5 Gas switch structure

图 5 气体主开关结构示意图

高压脉冲形成的关键部件是气体开关的结构。本文设计的气体开关结构见图 5,该结构开关采用场畸变预电离的工作方式。这种设计降低了触发电极加工要求和触发器调试难度。该结构中,触发盘的边缘几乎直接对应于地电极,增强了触发盘与地电极之间的电场,导致在触发盘和地电极之间容易发生击穿。加入触发信号,触发电极与地电极先产生打火,同时产生紫外光,紫外光引燃开关主间隙,发生场畸变,从而整个开关间隙导通。图 6 为用 ANSOFT 模拟的开关电场分布情况。图 6(a)是触发电极不加电压时的场分布,此时最大电

场集中在地电极附近,最高场强是 303 kV/cm;图 6(b)是触发电极引入触发信号时的电场分布,此时最大电场集中在触发电极边缘上,触发极上场强增至 1.1 MV/cm,场畸变因子为 3.6。

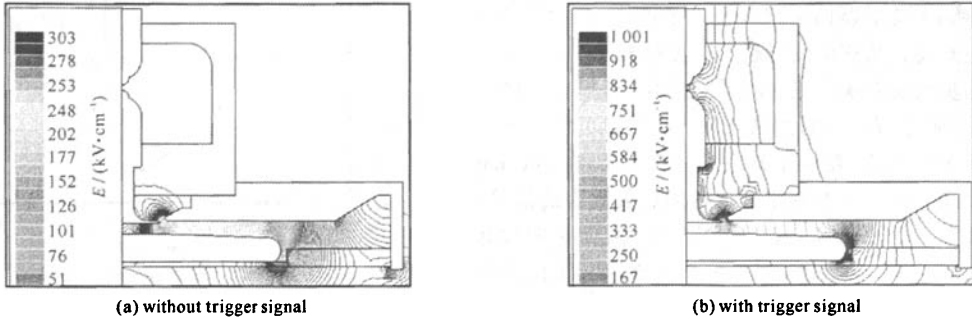


Fig. 6 Distribution of electric field of gas switch

图 6 触发电极加触发信号前后开关场分布

2.2.2 100 kV 气开关性能测试

开关性能测试包括静态性能测试和动态性能测试。其静态性能包括自击穿电压与最小工作电压,动态性能是对开关动作的时间延迟 t_d 和抖动 t_j 进行测试,其时间延迟主要指从前级 50 kV 脉冲触发到 100 kV 脉冲输出的时间。图 7 是静态性能测试结果,两条曲线间的区域表示开关工作范围。图 8 是 100 kV 输出及前级 50 kV 输出的测试波形,峰值之间的时差为开关动作的延时。表 1 是开关动态测试结果,其中, U_a 表示触发电压, k 为欠压比。可以看出,随着欠压比增大,延迟时间和抖动减小,满足设计要求。

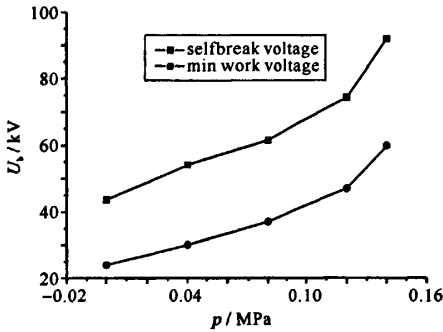


Fig. 7 Operating range of gas switch

图 7 开关工作范围

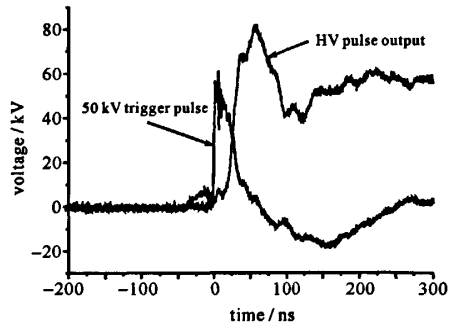


Fig. 8 Performance of dynamic condition

图 8 动态性能测试

表 1 不同气压不同欠压比下的平均延时和抖动

Table 1 Delay time and jitter under different pressure and work coefficient

p/MPa	k	U_a/kV	t_d/ns	t_j/ns
0.14	0.75	67.5	94.1	6.1
0.14	0.80	72.0	83.4	4.9
0.14	0.85	76.5	52.1	3.5
0.14	0.90	81.0	52.1	2.2
0.18	0.75	87.0	68.8	5.0
0.18	0.80	92.8	50.1	4.9
0.18	0.85	98.6	42.3	2.6

3 试验调试

在 Marx 发生器充电 60 kV 下,通过 MV 级气体开关外触发联机运行调试,可得触发系统时间和加速器 MV 级主开关工作的时间关联性。调试过程中,调整从发生器原始信号引出到整形滤波之间的电缆长度,使 3 个 MV 级气体主开关在发生器向形成线充电时间的 90%~95%动作,避免触发信号来得过早,造成能量损失,或触发信号来得过晚,损坏绝缘子。

图9是系统调试结果波形,图中触发脉冲幅值86 kV(为了图形处理,将其幅值放大10倍), U_A, U_B, U_C 分别表示 Marx 发生器向形成线充电的电压波形,对应3个气体主开关。从充电波形起点到触发脉冲峰值的时间差即为同步触发系统的工作时延。图中是电缆长度增加67 m后总时延770 ns的测试结果。从波形可以看出:3个开关同步性较好,在3个开关的击穿瞬间,在100 kV高压脉冲输出波形上都有主开关导通反射回来的信号,说明触发系统使开关同步动作。多次调试结果表明整套系统的延时440 ns(抛去67 m的电缆延迟时间),抖动13.5 ns。

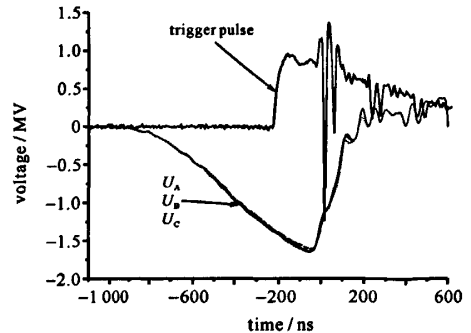


Fig. 9 Wavefront of system debug

图9 整机调试结果

4 结论

通过对同步信号的整形处理,解决了发生器电流上的高频信号干扰问题;经过快速比较电路和前级脉冲后,选取了同步信号开始工作的时间点,并形成十几 V 的触发信号;高压脉冲形成部分主开关采用场畸变结合预电离的方式,该结构的气体开关时间响应为 50 ns,抖动小于 5 ns,满足使用要求。该套同步触发系统从同步信号获取到 100 kV 高压脉冲峰值加到主开关上的时间延迟 440 ns,可以通过增加电缆长度来控制 MV 级气体开关的工作时刻,以保证 3 个 MV 级气体主开关与 Marx 发生器的延时同步工作。同步触发系统的抖动为 13.5 ns,造成抖动较大的主要原因来自于滤波整形过程,这有待于进一步改进。

参考文献:

- [1] Sincerny P, Ashby S, Childers K, et al. Performance of DECADE module 1(DM 1) and the status of the DECADE machine[C]//Proc of the 10th IEEE Pulsed Power Conference. 1995;405.
- [2] Frazier G B, Ashby S R, Demeter L J, et al. Eagle and Double-eagle[C]//Proc of the 4th IEEE Pulsed Power Conference. 1983;583-589.
- [3] Volkov S N, Kim A A, Kovalchuk B M, et al. MV multi channel closing switching for water storages[C]//Proc of the 12th IEEE International Pulsed Power Conference. 1999;1179-1182.
- [4] 孙凤举,邱爱慈,尹佳辉,等. MV 级边缘点火多级多通道电脉冲触发气体开关的设计[C]//第九届高功率粒子束会议文集. 2004. (Sun F J, Qiu A C, Yin J H, et al. The design of a multi-gap multi-channel and electric trigger switch//Proc of the 9th High Power Particle Beam Conference. 2004)

Synchronization system of gas switch for Flash II

YANG Li, CHENG Liang, HUANG Jian-jun, LAI Ding-guo, REN Shu-qing,

ZHANG Yu-ying, ZHANG Yong-min

(Northwest Institute of Nuclear Technology, P. O. Box 69-10, Xi'an 710024, China)

Abstract: The synchronizer trigger system of Flash II accelerator gas switch is designed and debugged. The system is composed of a synchro-control and a high voltage pulse generator, and the process includes the selection of synchronizer signal, filter, fast comparator, forestage trigger pulse formation, and the high voltage trigger pulse output. By filter circuit, the high frequent noise signal of Marx current is removed. By the fast comparator and the forestage trigger pulse circuit, the working point is accessed and a trigger signal is generated. The operating mode of the high voltage pulse generator switch is field distortion and preioniazation, and its time response is 50 ns, jitter less than 5 ns. The experimental results indicate that the synchronizer system can generate a 100 kV pulse with rise time below 10 ns, delay time 440 ns, and jitter 13.5 ns. The multiple switches can work at the same time by controlling the time that the trigger signal reaches the gas switches by changing cable length.

Key words: Synchronizer trigger; Trigger generation; Multi-gap multi-channel gas switch; Intense pulsed electron beam; Accelerator