

快脉冲实验装置产生的干扰及抗干扰手段

何秋英 刘培铭 崔文栋

(中国科学院物理研究所)

在电容储能、高电压、大电流放电等环境中,用电子学系统和电子计算机(包括微处理机)对脉冲实验装置进行自动控制,对实验装置的物理实验数据进行采集和处理,都会遇到极强的干扰。主要的干扰来源于电容器组本身放电和启动电容器组时的触发放电。

主放电产生的干扰主要有地电位升高和电磁耦合干扰两种。触发放电产生的干扰主要有静电感应干扰和电磁辐射干扰两种。下面介绍两种特殊的抗干扰方法。

1. 隔离

在快脉冲实验这种强干扰的环境中,要维持一个电子学系统正常运行,必须采取严格的抗干扰手段。例如,电源线进入系统前必须经过严格的低通滤波,整个系统必须置于屏蔽良好的机柜内,合理地选择接地点并保证一点接地,选用抗干扰能力强的电子学线路等…。这些常规抗干扰手段应严格地合理地配置,但是,如果电子学系统有信号电缆(输出信号电缆或者输入信号电缆)与外界相连,那么问题就要复杂得多。在输入或者输出信号频谱与干扰信号频谱有明显差别时,可以用选通滤波的方式解决。但当两者频谱相近的时候,例如在快脉冲放电技术中普遍使用的延迟系统,抗干扰就困难得多。经过延迟系统后的启动脉冲用来启动快脉冲实验装置的触发系统,它和触发系统的触发脉冲的频谱十分接近。下面我们以前述延迟系统为例,说明输出电缆引入的干扰是怎样抑制的。

脉冲延迟系统可以输出一系列不同延时的脉冲,以便启动脉冲实验装置中不同类型放电系统和测量系统。我们研制的延迟系统中的一路框图如图 1 所示。

延迟系统由三部分组成:延迟级(包括双层屏蔽输出变压器)、隔离级和放大级。原始启

物理



图 1 一路延迟器

动脉冲依次经过上述三部分后,用射频同轴电缆将电压为 30kV、脉冲上升前沿为 50ns 的启动脉冲送入脉冲实验装置。

由于延迟系统各部分均经过十分仔细的常规抗干扰处理,所以该系统的干扰是通过输出电缆引入的。输出电缆引入的干扰触发了处于等待状态的多路延迟器,会使整个实验装置失控。

该实验装置主放电电压为 200kV,放电周期 32 μ s,放电电流峰值为几百万安培;触发放电电压为 70kV,主振频率为 4MHz。

延迟系统输出电缆的终端接到放电系统触发开关上,所以触发干扰通过电缆直接进入延迟系统。同时,在输出电缆长距离的传输途中,实验装置的主放电干扰通过电磁耦合,将主放电干扰耦合到输出电缆外屏蔽层上,这种干扰也同样可以进入延迟系统。

进入延迟系统的干扰最初加到放大级输出端,延迟系统的放大级和隔离级是由脉冲闸流管和电子管构成,从输出端向系统内部看,放大级和隔离级等效于一个大的电阻和一个小容量电容并联回路。主放电干扰是一种频率为 30kHz 左右的干扰信号,无论是上述等效电阻还是等效电容,对这种干扰信号都有极大阻抗,干扰很难耦合到隔离级的输入端。然而 4MHz 的触发干扰不再是这样,它可以通过等效电容耦合到隔离级输入端,造成危害。

在延迟系统中,单从脉冲延迟和放大来讲,只要有延迟级和放大级就已经足够了。采用隔

高级是为了衰减来自输出电缆上的干扰信号，其作用相当于增大等效电阻，减小等效电容。

上述两类干扰经放大级和隔离级后，其干扰衰减的频率特性如表 1 所示。以高频信号发生器作信号源，高频微伏表测量输出电压。

表 1 衰减特性

频率 (MHz)	加在放大级输出端的输入信号	输出信号		衰减倍数	
		隔离级输入端	放大级输入端	放大器衰减	两级衰减
0.1	370mV		120 μ V	3.1×10^3	
0.2	470mV		270 μ V	1.7×10^3	
0.5	500mV		710 μ V	6.9×10^2	
1.0	510mV	3.2 μ V	1.6mV	3.1×10^2	1.6×10^2
1.5	520mV	6.8 μ V	3.1mV	1.6×10^2	7.4×10^4
2.0	450mV	17 μ V	7.5mV	6×10	26×10^4
3.0	390mV	107 μ V	4.6mV	8.5×10	3.6×10^3
4.0	400mV	350 μ V	2.7mV	1.4×10^2	1.1×10^3
5.0	470mV	370 μ V	3.7mV	1.3×10^2	1.3×10^3
6.0	600mV	430 μ V	4.2mV	1.4×10^2	1.1×10^3
7.0	150mV	620 μ V	7.2mV	2.1×10	2.4×10^2
8.0	350mV	630 μ V	3.2mV	1.1×10^2	5.6×10^2
9.0	500mV	1.5 μ V	2.3mV	2.2×10^2	3.3×10^2
10.0	620mV	2.5 μ V	5.2mV	1.2×10^2	2.5×10^2

由表 1 可见，在 100kHz 以下的频率范围内，放大级和隔离级的衰减远大于 10^5 ，故主放电干扰经过该两级后完全衰减掉了。在 4MHz 附近，衰减为 10^3 。70kV 的触发信号，如果有十分之一通过输出电缆进入延迟系统，那末在隔离级输入端还有 7 V 的干扰信号，此信号完全可以让延迟级的晶体管电路产生失误动作。

2. 双层屏蔽脉冲变压器

在延迟系统中，为完成多路延迟，各路延迟器的延迟级之间有信号连接。由于放大级和隔离级在高压脉冲下工作，本身会产生强干扰，所以延迟级与放大级和隔离级之间不能使用一个公共屏蔽柜，必须各自独立屏蔽，以防止某一路放大级和隔离级产生的干扰通过延迟级进入另一路延迟级。延迟级晶体管输出和隔离级输入如直接用电缆连接，则会带来干扰，所以我们采用了脉冲变压器耦合。该变压器初次级之间双层屏蔽，初级屏蔽层与延迟级屏蔽相连，次级层与隔离级屏蔽相连。在使用了上述抗干扰手段

以后，还必须采用双层屏蔽脉冲变压器，这是解决延迟系统干扰的最后关键。众所周知，从变压器一侧向另一侧耦合信号是通过电磁耦合方式进行的，然而由于变压器初次级之间存在分布电容，则通过分布电容耦合即静电耦合也是可能的。引入到双层屏蔽变压器次级上的干扰大致有两种：整个系统输出电缆引入的干扰，该干扰经放大级、隔离级后，主放电干扰全部抑制掉，并且衰减了 4MHz 的触发干扰；另一种是放大级和隔离级本身工作时产生的干扰脉冲。两种干扰的共同特点是频率高（4MHz 左右），电压高（几十伏到上百伏）。但这类干扰仅仅是电压讯号，没有足够功率，只能通过静电耦合到变压器初级，但变压器的双层屏蔽阻止了这种耦合，从而阻止了干扰。相反，延迟级产生的启动脉冲是加到双层屏蔽变压器初级的大电流讯号，它可以通过电磁耦合方式到达次级，完成延迟脉冲向下一级的传输。

单层屏蔽变压器不能完全解决静电干扰。图 2 表示一个作信号输出的单层屏蔽变压器，由于变压器初、次级对屏蔽层都有分布电容存在，产生了 $V_{5,6}$ 和 $V_{6,7}$ 。如果将屏蔽层接到初级屏蔽上，那么放大器输出信号的一部分信号 $V_{5,6}$ 通过 5,6,9, 1, 2, 3, 4, 5 回路对放大器产生干扰。如将屏蔽层 A-A' 接放大器基准零点 4，即图中的 4 与 9 相连，那么干扰电压 $V_{6,7}$ 将沿 1, 2, 3, 4, 9, 6, 7, 8, 1 回路进入放大器。后一种情况是实验中常常采用的方式。

使用双层屏蔽变压器就可以解决上述问题，如图 3 所示。初级干扰 $V_{5,6}$ 通过 4, 5, 6, 9,

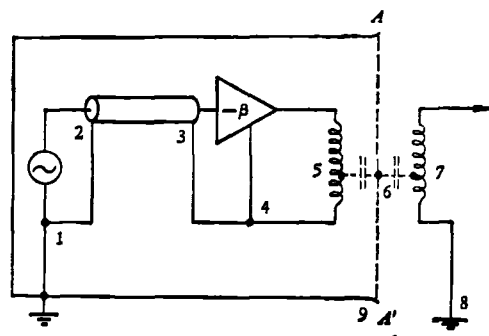


图 2 单层屏蔽变压器

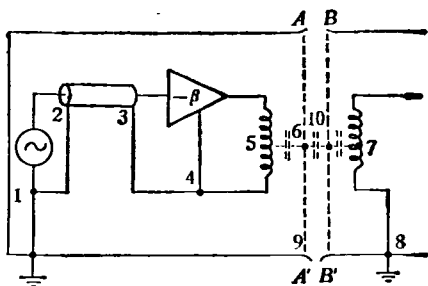


图3 双层屏蔽变压器

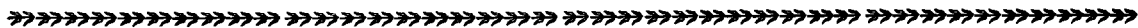
4 迴路,次级干扰 $V_{7,10}$ 通过 10,7,8,10 迴路,均不会构成对放大器的干扰。

实验中使用高 Q 高 μ 的锰锌铁氧体 E12 \times 14 作脉冲变压器磁芯,有机玻璃作骨架,0.03

mm 的铜箔作屏蔽层,绝缘材料是用 0.05mm 厚的聚四氟乙烯薄膜。当变压器输出端接有 160 Ω 的负载时,输出幅度为 90V,脉冲上升时间为 20ns,电压传输效率为 90%。

我们的延迟系统是由六路延迟器组成,由于采用了上述抗干扰手段,可以在快脉冲放电的强干扰环境中运行,此时延迟精度优于 100ns,最小延迟时间为 100ns,最大延迟时间为 300 μ s,延迟时间连续可调,脉冲输出幅度为 30kV,上升时间为 50ns。

本工作得到李兵、申根祥同志的协助,谨表感谢。



中国物理学会第三次全国会员代表大会暨中国物理学会 成立五十周年纪念大会在北京召开

中国物理学会第三次全国会员代表大会于 1982 年 12 月 20 日至 25 日在北京京丰宾馆举行,出席代表 219 名(不包括列席)。著名物理学家李政道、任之恭教授和一些地方物理学会发来了贺电、贺信。高能物理分会、粒子加速器分会以我国第一台 10MeV 质子直线加速器的建成向大会报喜。

开幕式上,理事长周培源代表第二届理事会作工作报告,副理事长钱三强作关于修改会章的报告。代表们对两个报告进行了热烈认真的讨论,提出了不少有益的建议。

21 日上午,全体代表隆重纪念中国物理学会成立五十周年。纪念会上,严济慈、钱临照教授先后报告,他们以亲身经历,回顾了中国物理学会创建、成长、壮大的过程和我国物理学所取得的成绩。并配合展出了中国物理学会早期活动的一些珍贵照片。大会还向从事物理学工作五十年以上的老前辈颁发了荣誉奖章和荣誉证书,表彰他们在发展我国物理科学以及培养人才方面的贡献。

21 日至 24 日举行学术年会,31 位物理学家作了学术报告,广泛地介绍了 30 年来我国物理学的发展和应

用(编者按:大部分报告本刊将从第 12 卷第 5 期起

相继刊出)。全体代表经过讨论,一致通过了大会工作报告和新的会章,并按会章要求,以无记名投票的方式选举了 84 名理事(包括台湾省一名,暂缺),组成第三届理事会。理事会以民主方式选举产生 17 名常务理事。常务理事推选钱三强为理事长,谢希德、洪朝生、周光召为副理事长,管惟炎为秘书长,沈克琦、李寿椿为副秘书长。

为了表达大家对在发展我国物理科学研究和教育工作中做出卓越贡献的老前辈的敬意,代表们一致推选严济慈、周培源为中国物理学会名誉理事长,王竹溪、王淦昌、张文裕、汪德昭、施汝为、赵忠尧、钱临照、褚圣麟为中国物理学会名誉理事。

闭幕时钱三强作大会总结,他号召物理学工作者要在党的十二大精神鼓舞下振奋精神,努力工作,以蒋筑英、罗健夫同志为榜样,学习他们坚定的共产主义信仰和对祖国的一片忠心,学习他们业务上精益求精、不计较个人得失、勇挑重担的革命精神,为国家的经济建设和咨询工作,为实现祖国四个现代化的宏伟目标作出新的贡献。大会在热烈的掌声中胜利闭幕。

(于 鲲 汪雪英)