

用于分析“神光”装置中大电流放电 干扰的放电回路理论模型

黄东海 徐振华 远存德 王剑雄 韩爱妹

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 本文报道神光装置放电回路的理论模型;根据理论模型得到的电位计算结果;一种特殊的电位测量电路。电位的计算结果和测量结果十分一致。电路模型和特别的测量电路是改进神光装置放电电路结构和分析并消除电磁干扰的主要办法。

关键词 理论模型, 干扰

1 引言

12号神光装置中的电学部分是一个比较复杂的高电压大电流放电系统,该系统在工作时有时会产生严重的干扰现象。根据以往的实践经验和分析,干扰来自放电时各种电位的瞬时抬高。随着12号装置的升级,放电时的干扰问题将更为严重和复杂。虽然电位的抬高是可以通过实际的测量来比较准确地判断,但如果要正确地分析产生干扰的各种原因,解决干扰问题和运行中出现的各种问题,必须对整个系统的各种放电回路和放电过程有一个清楚的了解,这就要建立能模拟放电过程的回路理论模型。

2 理论模型

在12号装置的用电部分中,有许多不同结构的放电回路。由于干扰问题是用电部分最为突出的问题,而干扰主要是由于大电流放电产生的,故以目前的12号装置的回路结构为基础,对放电回路建立理论模型。

每个放大器用电部分是由多个结构相同的单元放电回路组成的,每个放电回路的负载为串联的两支氙灯。在这里以1AD100-1为例,来建立单个片状放大器放电回路的理论模型。1AD100-1级放大器放电回路由8个单元放电回路组成,8组放电回路公共部分有电容器构架、引燃管开关、放大器、工作台及地线。假定在引燃管开关导通后每个单元放电回路的放电过程完全一致,也即各个放电回路中的相应点的电位变化完全相同,因此可以把这8组放电回路

用等电位法等效为一组放电回路。最后得到的理论模型电路图如图 1 所示。

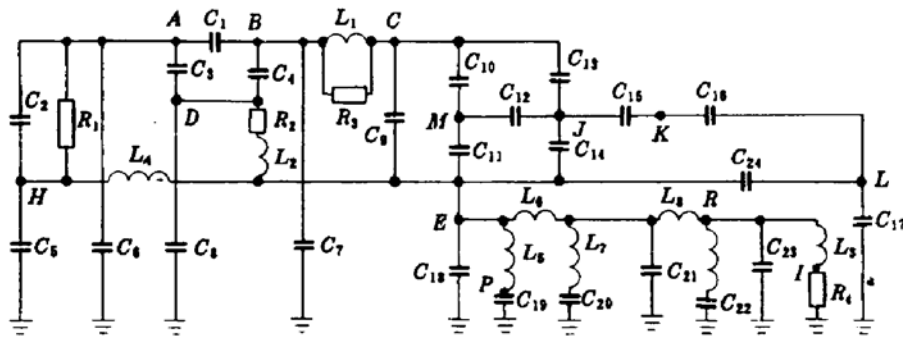


Fig. 1 Theoretical model of the discharge circuit of a single disk amplifier

理论模型中的参数意义如下：

(1) 主回路参数

C_1 为等效主电容, $1472 \mu\text{F}$; R_1 为引燃管等效非线性电阻, R_2 为降压电阻, 10Ω ; R_3 为等效限压电阻, 125Ω ; L_1 为等效调波电感, $56 \mu\text{H}$; L_2 为 R_2 中的杂散电感, $25 \mu\text{H}$ 。

(2) 杂散参数

R_4 为地网等效冲击电阻, 15Ω ; L_3 为接地线杂散电感, $40 \mu\text{H}$; L_4 为引燃管至 R_2 连接电缆的外皮电感, $5 \mu\text{H}$; $L_5 \sim L_9$ 为有关接地线杂散电感; C_2 为充电电缆电容, 3500 pF ; C_3, C_4 为电容器高压端对其外壳电容, $0.2 \mu\text{F}$; C_5 为充电电缆外皮对地杂散电容, 800 pF ; C_6, C_7 为电容器高压端对地杂散电容, 200 pF ; C_8 为构架对地杂散电容, 800 pF ; C_9 为放电电缆等效电容, $0.3 \mu\text{F}$; C_{10}, C_{11} 为氙灯两极等效杂散电容, 40 pF ; C_{12} 为氙灯公共端对放大器聚光筒杂散电容, 400 pF ; C_{13}, C_{14} 为氙灯负载两端对聚光筒等效杂散电容, 200 pF ; C_{15} 为放大器聚光筒对外壳杂散电容, 150 pF ; C_{16} 放大器外壳对工作台杂散电容, 50 pF ; C_{17} 工作台对地杂散电容, 500 pF ; C_{18}, C_{19} 为负载端放电电缆外皮对地杂散电容, 4000 pF ; $C_{20} \sim C_{23}$ 为有关的放电电缆外皮对地杂散电容。

关于以上的理论模型有以下几点说明：

1) 所有的杂散参数都是根据实际的电极结构、尺寸和安装情况得到的估算值。

2) 根据以往的测量结果,“神光”装置接地网的接地电阻为 0.1Ω ,但这是静态下的接地电阻。在大电流放电时,地网上有高频电流流过,这时接地电阻还和地网的分布参数有很大关系。由于地网的理论模型到目前还不很清楚,这里用一纯电阻模拟冲击等效电阻以简化计算,这样不会引起太大的误差,仅有可能失去波形中的一些高频振荡部分。

3) 理论模型仅能模拟实际的放电回路在引燃管导通至氙灯击穿前这一过程,但这并不会影响对于干扰问题的分析。由于氙灯的放电过程可分为两个时期,即引燃管导通至氙灯刚要过压击穿(a)和氙灯过压击穿并形成大电流放电(b)。根据前面的测量结果及对理论模型的分析可知,放电回路中各点电位的抬高出现在杂散参数形成的快速放电过程之中,各点电位的高频幅值部分均在引燃管动作后 $5 \mu\text{s}$ 之内,即在杂散参数形成的快速放电过程的前期,而(a)过程所需要的时间大约为 $10 \mu\text{s}$,因此回路中的各点电位抬高幅值也是出现在(a)过程之中的。由此可见,上述理论模型虽然不能模拟(b)过程,但完全可以用来计算和分析主要和电位幅值有关的干扰问题。

3 电位计算结果

3.1 EMTP 程序介绍^[2]

EMTP 程序是用来计算电力系统各种瞬态过程中回路的电位及电流,它允许组成电路网络的元件有集中元件、多相网络、非线性电阻、非线性电感、随时间变化的电阻、电压源、电流源及各种指示开关如模拟断路器、火花间隙等,所有的计算结果可打印或绘出图来。

3.2 电位计算结果

根据以上放电回路理论模型及参数值,利用 EMTP 计算了回路中以下各点的电位:构架电位 U_s ; 氙灯接地处地线电位 U_g ; 地网电流入点电位 U_i ; 放大器外壳电位 U_k ; 工作台电位 U_l 。

由于篇幅的关系,仅将构架电位 U_s 、地线电位 U_g 的计算结果列于图 3 的 (a), (b) 中。

4 电位的实际测量

由于神光装置中的大电流放电会产生强烈的电磁干扰,以往一般的测量线路已无法应用,故必须采用特殊的测量线路。

4.1 测量分压器的设计和制作

由于神光装置中放大器用放电回路有以下特点: (a) 各种杂散参数为电容性质且其数值较小; (b) 被测点处在强烈的电磁场中。我们采用电阻分压器作电位测量工具。为了减少分压器本身的电感,分压器制成同轴结构,其分压元件选用低感金属膜电阻,低压臂用多个电阻并联;整个分压器被铜壳屏蔽,以减小干扰对测量结果的影响。

制成的分压器经西安交大高压教研实验室测定,具有良好的方波响应特性,其上升沿响应时间达 1 ns。该分压器的额定电压为 25 kV,变比 $K = 40 \text{ k}\Omega / (330/6) \Omega = 727.3$ 。

4.2 测量回路的设计

经过实验研究和分析,最后采用的测量线路如图 2 所示。该线路有以下特点:

(a) 信号传输电缆采用双层屏蔽电缆,电缆的内外屏蔽层在分压器端相连且通过接地电缆接地;在示波器端仅电缆外层屏蔽通过接地线接地。电缆波阻抗为 50Ω ,该值和分压器低压臂电阻值匹配。

(b) 接地线采用带屏蔽层粗芯电力电缆,电缆屏蔽层和其芯子在分压器和接地端两处相连。

(c) 测量示波器经隔离变压器及滤波器供电。

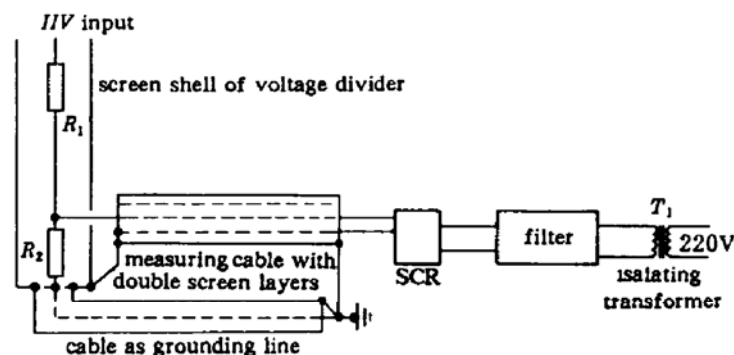


Fig. 2 Measurement circuit

测量分压器的接地电极和“神光”装置的接地网是分开的，且离接地网约 10 米，在此可近似视为零电位。

利用该种测量线路对回路中的各点电位进行了测量，测量结果表明：这种测量线路具有良好的抗干扰能力，测量得到的所有电位波形非常清楚。由于篇幅的关系，仅将构架和地线电位测量结果列于图 3(c)，(d) 中，以便和计算结果比较。

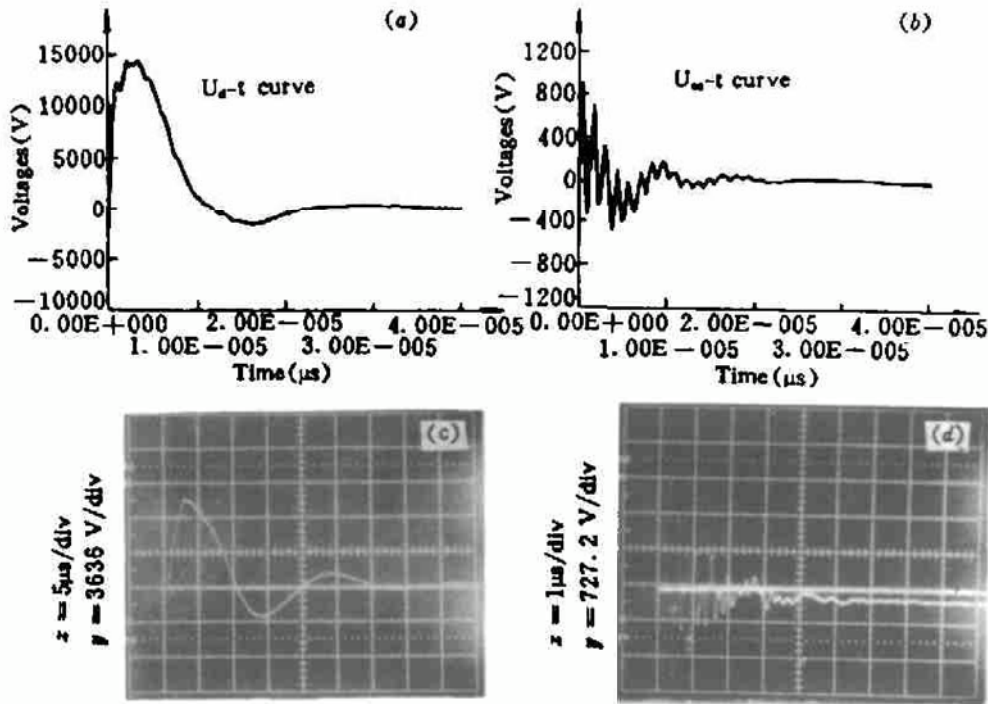


Fig. 3 Calculated results (a), (b) and measured results (c), (d) of the discharge circuit potential

5 计算结果和实际测量结果的比较

比较图 3 中的电位计算结果和实测结果可以看出：各点电位波形的变化规律和频率相同，但幅值有一定的偏差，其误差原因主要是各杂散参数的估算值和实际情况的偏差，特别是引燃管的非线性特性的模拟偏差对结果影响较大。当然，测量结果也有一定的误差。

由于回路中的各种参数的性质和大小决定了回路中各点电位的变化规律和频率，而大电流放电产生的干扰出现在引燃管动作至氙灯刚要击穿这一过程中，因此，图 1 中的理论模型对大电流放电前期的杂散参数形成的放电过程的模拟是正确的，它可以用来分析、计算和电位抬高有关的干扰问题。

由于所有片状放大器的工作台和回路地线是相互连在一起的，如果忽略各电容器构架之间的影响和放电电缆的电感，并假定各个引燃管的电特性相同且触发同步，那么多个放大器同时工作时的放电回路模型的结构和单片工作时的相同，只有主电容器两高压端对地杂散电容 C_6 和 C_7 的数值大大增加， C_6 和 C_7 的等效值随放电的回路数的增多而增大。

参 考 文 献

- 1 12号“神光”装置研究报告. 1983~1987. 上海光机所
- 2 施 围. 电磁瞬态程序使用手册. 西安: 西安交通大学出版社, 1984

Theory Model of the Discharge Circuit for Analysing Great Current Discharge Induced Electromagnetic Interference in “Sheng Guang” Facility

Huang Donghai Xu Zhenhua Yuan Cunde Wang Jianxiong Han Aimei

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Acadimia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract In this paper, a circuit theory model for the discharge circuit of “ShenGuang” Facility, the caculated results for pontentials which are obtained on the basis of the theory model, a special pontential measuring circuit and the measured results are reported. The caculated results are in good agreement with the measured ones. All reported in this paper are very important, especially, the circuit model and the special measuring circuit are the principal means to improve the discharge circuit structure and to analyse and resolve the electromagnetic interference in “ShengGuang” Facility.

Key words theory-model, interference