

高功率雷达发射机控保电路电磁兼容设计

李新军

摘 要 本文通过对我厂某雷达发射机电磁兼容环境的分析,提出了在雷达发射机控制保护电路电磁兼容设计中可采用的几种有效措施。

关键词 雷达发射机;电磁兼容;控制保护电路设计

1 引言

高功率雷达发射机历来是雷达中的最薄弱的环节,控制保护电路(以下简称控保电路)电磁兼容性的设计,尤其是抗干扰设计关系到整个发射机的 MTBF 性能。在某雷达发射机系统中存在两万伏的高压、40 多安培的脉冲电流,极强的电流变化率使整个系统工作在强电场及强磁场中,由于真空器件的打火效应,使高压电源的电流变化率有可能达到几百安培甚至几千安,强变化的电流产生的瞬态电磁波及脉冲电流可直接摧毁控保电路,提高控保电路的电磁兼容性是极其关键的问题。

2 干扰的产生

(1) 由脉冲电路的知识可知,当电路中存在脉冲波形时,上升时间及下降时间越短,其傅立叶的频谱范围就越宽,产生尖脉冲的干扰就越严重,雷达发射系统对波形的上升时间及下降时间要求非常短,必然会产生波形上的干扰。

(2) 雷达调制器工作在饱和区,在频率上会产生大量的谐波分量,成为干扰源。

(3) 雷达发射系统属大功率、高损耗的系统,在高压电源部分大量采用高功率器件,强大的电流及高压会产生较强的电磁场,形成干扰源。

(4) 高压电源采用开关电源,开关频率高达 10kHz~20kHz,会产生频率辐射干扰。

(5) 地线干扰。发射系统中对控保电路产生较大干扰的当属地线干扰,可将其分为三类。

1) 地环路干扰

在发射系统中由于有较大的电流流过地线,而地线的阻抗不为零,会产生电压降,这个电压会使不同的电路上产生电流(如图 1 所示的低压回路及高压回路),由于电流的不平衡性,每根导线上的电流(I_1 、 I_2)不同,会产生差模电压(V_g),对电路产生干扰。当环路面积较大时,强大的磁场通过环路面积在环路上也会感应出较强的地电流(I_g),同样会形成地环路干扰。

2) 公共阻抗耦合

当多个电流回路流过同一个公共阻抗时(如图 2 所示的两个电路),在地线的等效电阻 R_g 上会产生交互调制效应,两个信号之间会形成干扰。对于两个公用电源的电路同样存

在公共阻抗耦合干扰。

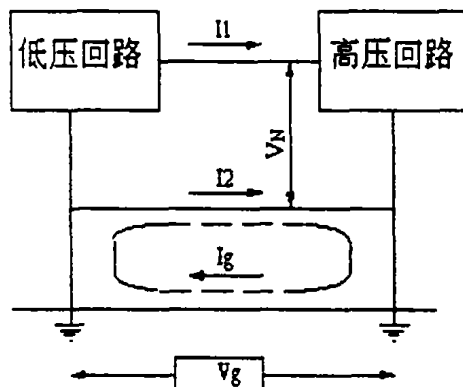


图1 地环路干扰

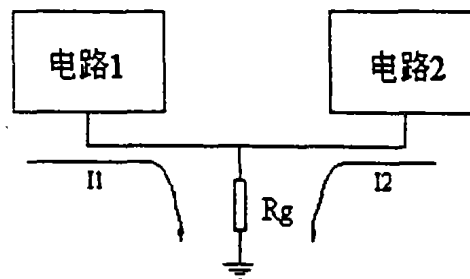


图2 公共阻抗耦合

3) 串联单点接地干扰

在发射机电路中，控制电路大多采用低电压信号，而调制器电路及电源电路的电压最小也在几千伏以上，因而强电与弱电公用地线必然对控制电路产生强烈干扰。特别是采用串联单点接地时，干扰更为强烈，如下图3所示。

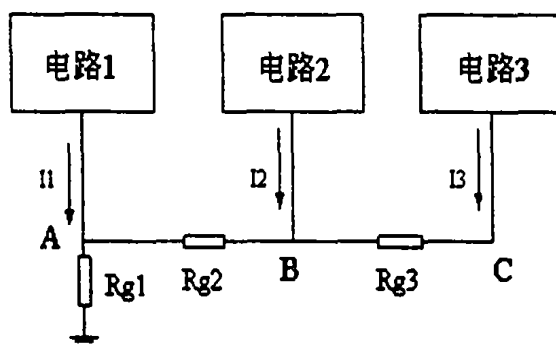


图3 单点接地干扰

$$A \text{ 点电位为: } V_A = (I_1 + I_2 + I_3) \times R_{g1}$$

$$B \text{ 点电位为: } V_B = (I_1 + I_2 + I_3) \times R_{g1} + (I_2 + I_3) \times R_{g2}$$

$$C \text{ 点电位为: } V_C = (I_1 + I_2 + I_3) \times R_{g1} + (I_2 + I_3) \times R_{g2} + I_3 \times R_{g3}$$

可以看出各点的电位是互相影响的，其中C点的影响最为突出、干扰最强。

3 消除干扰的几项措施

在发射机系统中解决电磁兼容问题是较为困难的，从以上的分析可以看出，该系统本身就是一个干扰源系统，它包括了产生干扰必须具备的三个因素：电磁干扰发射源、耦合途径、敏感设备。控保电路作为一个敏感设备，其可靠性已受到严重威胁，由于发射机本身的特点决定了已无法从电磁干扰发射源来进行抗干扰设计，只能通过切断耦合途径或提高敏感设备自身的可靠性方面来着手解决电磁兼容问题。

3.1 切断耦合途径

在大电流、强磁场的系统中采用光电耦合器件有其独特的效果，因为光电耦合器件的

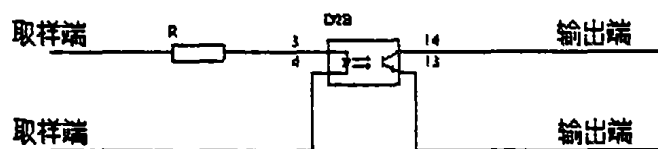


图 6 高压取样

高压取样是发射机控保电路不可缺少的部分,如果采用电阻取样,必然存在地环路干扰,采用光耦取样同样将控制部分的地线与高压地完全分离,将光耦的工作点设计在线性区,便于调整取样保护点。

3.1.4 浮动板取样电路

发射机中的几个组合正常工作时浮动在 18kV 的高压上,如何对其信号进行取样是一个很关键的问题,采用光纤光电耦合器件解决了这一难题,如图 7 所示,光电耦合器件实现了地线隔离,而光纤则完成了高压隔离。

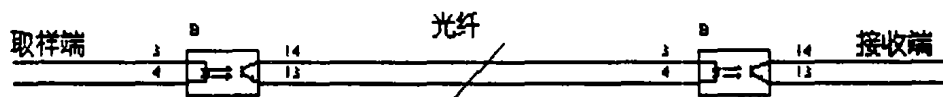


图 7 浮动板取样电路

3.1.5 对外接口电路广泛采用光电耦合器件

雷达发射机的控制电路与总站的接口一直难以可靠实现,以前广泛采用长线驱动器件,但当无信号传输时极易被干扰而损坏,采用光耦接口可大大提高系统的可靠性。在某雷达的接口电路中广泛采用了如图 8 所示的接口电路,光耦的输出线采用双绞线防止差模干扰,其可靠性大幅度提高。

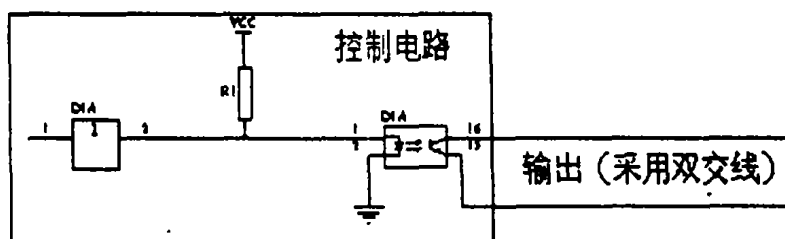


图 8 接口电路采用光耦

3.2 在电路中增设抗干扰器件

采用齐纳技术的瞬变电压抑制二极管 (TVS 管) 可以有效地消除对敏感器件的潜在危险,当它感受到高瞬态能量时能迅速变换阻抗,且由原来的高阻抗变到很低的导通值,将电压限定到预定电平,对控制电路起到有效的保护作用,在电路设计时将该器件施加在薄弱器件的输入及输出端,有效地解决了空间强电场及强磁场的高压脉冲对电路的损坏。

3.3 地线的综合治理

以前我们认为地线只是电路中的等电位点,通过以上的分析,地线成了干扰的传播途径,许多干扰信号通过公用地线互相调制,形成互调干扰。在电磁兼容设计中对地线应该重新定义,认为地线为信号流回电源的低阻抗路径。因此只要将不同信号的地给予区分,使地线成为真正的信号回路,从而降低了地线环路的面积,使各路信号有其自身的回路。在某雷达控保电路设计中将大电流地与小电流地、控制地与取样地、高压地与中压地、控制地与外输入信号地进行了完全隔离,将一些不可分割的地线在其各自形成回路后用阻抗较低的导线连接到同一安全地上,取得了很好的效果。

3.4 采用高反压器件

发射系统中的空间强电磁场极易击穿低耐压器件,在控保电路设计中大量采用高反压器件是必不可少的措施,在某雷达控保电路设计中,虽然其电路最大工作电压仅为+15V,但选择开关器件的耐压为+160V,经过反复实验,该器件一直处于正常工作状态,没有一次损坏。

3.5 采用独立电源技术

发射机低压部分的供电应尽量采用独立电源方式,比如用来产生预调脉冲的电源、负偏电源、总体的输入电源、信号源电源等不能与控制保护板公用电源。

4 结 论

在我厂某雷达发射系统控制保护电路的设计过程中,由于大量采用了上述电磁兼容设计方法,该雷达发射系统随制导站经过多次校飞、靶试等实验,发射系统的可靠性特别是其控制保护电路的可靠性远高于设计指标。

参考文献

- [1] 雷达原理. 丁鹭飞主编. 西安电子科技大学出版
- [2] 光电技术. 缪家鼎、徐文娟、牟同升编著. 浙江大学出版
- [3] 光电对抗和无源干扰. 1999 年第 2 期