

强电磁干扰下全电子引信通信孔的可靠性分析

高明, 叶亮

武汉东湖学院 湖北武汉

【摘要】全电子引信即电子安全与解除保险装置, 其工作原理是升压变压器经逻辑电路控制在短时间内给储能电容器充电, 接收起爆信号后, 高压开关导通, 起爆回路中会快速形成脉冲大电流大电压, 引发冲击片雷管爆炸。电磁脉冲武器作为当今电子战常用武器, 其辐射频谱可达 30MHz 至 100GHz, 脉冲峰值电压可达数万伏每米, 脉冲峰值功率可达 10GW, 并且可通过多种途径, 如电源、线缆、引信体、孔缝等方式耦合进入引信内部, 这给全电子引信系统的安全性带来了巨大的危害, 对全电子引信在强电磁干扰下的可靠度提出了很高的要求。

【关键词】强电磁干扰; 全电子引信通信孔; 可靠性

Reliability analysis of all-electron fuze communication hole under strong electromagnetic interference

Ming Gao, Liang Ye

WuHanDongHuUniversity WuHan

【Abstract】All-electronic fuse is electronic safety and release device, its working principle is that the step-up transformer is controlled by the logic circuit to charge the energy storage capacitor in a short time, after receiving the detonation signal, the high-voltage switch is turned on, and the detonation circuit will quickly form a pulse high current and high voltage, causing the impact sheet detonator to explode. As a commonly used weapon of electronic warfare today, electromagnetic pulse weapons have a radiation spectrum of up to 30MHz to 100GHz, a pulse peak voltage of tens of thousands of volts per meter, and a pulse peak power of up to 10GW, and can be coupled into the fuze through a variety of ways, such as power supply, cable, fuze body, hole, etc., which brings great harm to the safety of the all-electronic fuze system and puts forward high requirements for the reliability of the all-electron fuze under strong electromagnetic interference.

【Keywords】Strong electromagnetic interference; all-electron fuze communication hole; reliability

引言

由于具有安全、可靠和抗干扰等优点, 撞击式引信能够很好地满足烟火剂的起爆要求, 并广泛用于各种类型的武器系统。由于引爆引信需要释放 2000 伏以上的电压, 瞬时点火电流很大, 点火所需能量很大, 并且考虑到尺寸和重量的限制, 有必要设计引信的升压电路。

1 全电子引信起爆模块概述

全电子引信起爆部分由高压储能发火电容、高压开关、冲击片雷管组成, 在收到弹上解保信号后, 储能电容快速充电至 2kV 电压, 此时反馈电路监测电容两端电压, 等电容经泄放电阻自然放电至 1.9 kV 后, 芯片控制动态开关再次将电容充电至 2kV

电压, 触发信号到来后, 触发电路控制高压开关导通, 高压储能电容发火快速引爆冲击片雷管。起爆模块的等效电路图如图 1。

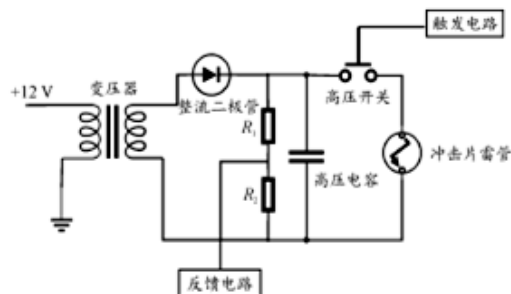


图 1 全电子引信起爆模块的等效电路图

然而, 实际在强电磁干扰测试中, 会出现已经

充电的高压电容叠加脉冲电磁干扰耦合在电路中的电压, 造成高压开关两端电压过高, 引起高压开关的自击穿, 从而导致战斗部早炸。

2 反激式变换器的三种工作模式

变压器具有简便性、部件较少、能效高、卷筒数量大等优点, 有助于减小变压器体积和重量, 因此选择变换器进行高压电路运行。欧空局触发电路通道如图 2 所示, 其依据是: 开关导体 s 过程中输入线圈产生负向上和向下电压, 输入线圈 IP 逐渐增大, 输入线圈中的流量增大, 次级线圈检测负向上和向下电压, 而次级线圈仅存储能量。关闭 s 时, 由于感应自力更生, 主校不会导致向下倾斜的互斥电路, 从而对二次绕组(ns)的上升和下降趋势产生正面和负面影响, 从而导致上升和下降趋势。二次绕组(d)的下降趋势, 以及二次绕组(c)以前保存的能量的释放, 从而导致递增上升或下降。向上-打开 CPU 开关。如果变频器的输出功率与 r 滤波器的输出功率相匹配, 则 UC 将趋向于稳定的高电压值, 因为存在暴露的电阻。

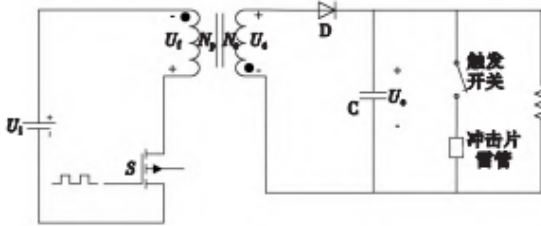


图 2 引信 E S A 升压电路示意图

有三种操作模式: 电力中断模式(DCM)、连续模式(CCM)、临界模式(CRM)。DCM 模式显示为一个从零开始的线性增量三角剖分, 如图 3 (a)所示, 在交换机上进行布线后。

$$I_{pmax} = DT_s \frac{U_i}{L_m}, \quad (1)$$

式 (1) 中, IPMAX 是原始峰值电流, d 是 PWM 比, TS 是开关循环, 用户界面是输入电压, LM 是输入电流。当开关线路关闭时, 副菱形值也显示为线性下降三角剖分。IS 在切换线路重新接通前降低到零。在完整循环中, 储存在卷轴中的能量仅用于容量的向上压力。CCM 模式如图 3 (b)所示, 其中原始侧管线 IP 不等于零, 而是增加非零值, 以表示阶梯波形。当开关线路关闭时, 副开关值 is 不会从最大值下降到零, 而是以非零最小值进入下一

个开关阶段。因此, 线圈保持静止状态, 在下一个周期开始时, 储存在上一个周期中的全部能量只消耗一部分, 而不是全部消耗掉。CRM 模式如图 3 (c)所示, 是 DCM 与 CCM 之间的一种操作模式, 这意味着原始边缘 IP 在切换线路时没有电力线, 并以线性递增的三角剖分表示。当开关管关闭时, 副 rom 值也会显示为线性衰减三角法, 副 rom 值会在下一个循环结束后立即降至零。

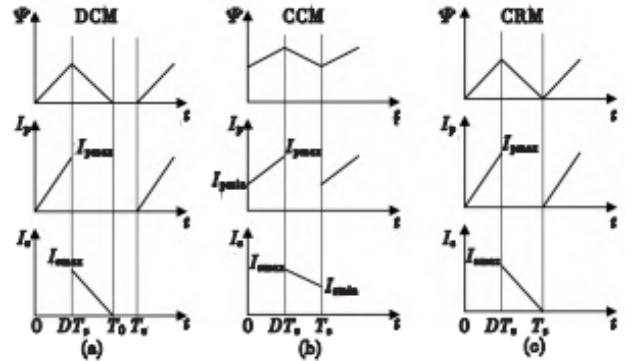


图 3 三种模式磁通量、原副边电流变化图

3 近似模型建立

由于涉密问题, 该引信结构不具体展示, 直接在 ANSYS Electronic Desktop 软件中的 HFSS 模块下对弹体和引信进行近似建模。以弹体底面圆心为参考点, 将复杂的弹体简化为空心圆柱体、圆锥体, 并模拟天线连接弹体。将引信简化为圆柱腔体, 腔体内有简化的电路板及环形和矩形微带线。该型全电子引信上端盖开了一个半径为 1.5mm, 制造公差 0.01mm 的通信孔, 由于全电子引信将弹体作为接地平面, 故引信内电路有导线作为接地线连接至弹体, 该导线是电磁干扰耦合进引信内部的重要因素之一, 将该导线进行近似建模。同时弹体内一般有传感器的线缆通过该通信孔进入引信内部电子电路, 因此该通信孔是引信必不可少的结构, 而该通信孔的尺寸与强脉冲电磁波的波长相差的数量级不大, 该通信孔破坏了引信结构的连续性, 是造成脉冲电磁干扰耦合进引信内部的重要途径。在近似模型的建立过程中, 将该通信孔的大小参数化。将强脉冲电磁干扰近似为平面波, 脉冲幅值为 150kV·m, 频段为 1~10GHz, 沿 z 轴负方向入射, 为模拟开放的电磁环境, 将边界定为圆柱体辐射边界。

4 全电子安全系统脉冲电磁干扰产生原理

脉冲电磁干扰主要有三个原因:(1)由于原饱和

MOSFET 开关在切断开关管时出现故障而产生的反向脉冲在开关管之间引起电压峰值-在两极之间。这是因为当开关线路从开/关状态切换到第二个线圈时,一部分能量不会从一个线圈传输到第二个线圈,因为变压器的转换通道这种电压开关可能导致电流在驱动接通主电源时磁化短路:这是感应电机的一项功能这也适用于主电源。2)进入向导时在“PN”部分累积的输出周期消失,当中间回路累积反向电压时产生反向电流。由于切换时半导体电路中的电压在第二个回路中非常普遍,因此从引道的过渡非常短在短时间内,轴承载荷消失时可能会产生反向阻力。直流输出中电容器的分布和分布传感器的存在,由于过电压引起的干扰,使得高频衰减。3)高频变压器主线圈、开关柜线路和高压变换器过电压电路可能产生较大的辐射干扰。

5 起爆模块可靠度计算

全电子引信所用高压开关为冷阴极触发管,其自击穿电压为 3.5kV,即电容两端的叠加电压大于 3.5kV 时,起爆模块视为不可靠。假设由电磁脉冲弹形成的电磁脉冲为瞬时电磁脉冲,在某一特定通信孔条件下,特定时间点发生不可靠事件的概率 P(t) 可表示为:

$$P(t) = \frac{\pi - 2\arcsin(\frac{3.500 - U(t)}{U_x})}{2\pi} \quad (2)$$

以通信孔半径为 1.490mm 为例,在 Matlab 软件中绘制出 P-t 曲线如图 4 所示。

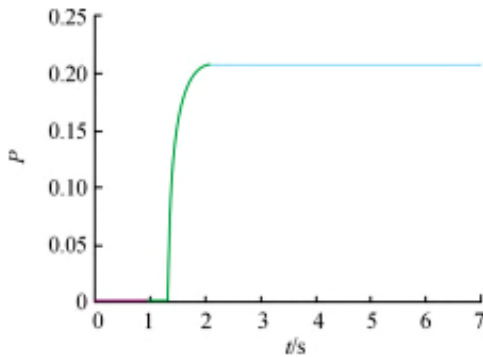


图 4 通信孔半径为 1.490mm 时 P-t 曲线

因此,通信孔半径为 1.490mm 时,起爆模块的总不可靠度可表示为:

$$P = \frac{\int_0^7 P(t) dt}{7} \quad (3)$$

通过 Matlab 软件计算,可得出通信孔半径为

1.490mm 时总不可靠度为 0.1696 [8]。若干扰源为长电磁脉冲,依据式(4)、式(5),其不可靠度将有所增加。使用同样的计算方法,可得到所有通信孔起爆模块的不可靠度如表 1 所示。由表 3 数据可以看出,在强电磁脉冲的干扰下,全电子引信孔的尺寸仅仅因为制造公差导致的波动,在无其他屏蔽条件或辅助降低电磁干扰的电路设计手段时,对起爆模块的可靠度影响较大,其尺寸越小,即与线缆贴合的越紧密,可靠度就越高。

表 1 各通信孔条件下起爆模块的不可靠度

半径/mm	不可靠度	半径/mm	不可靠度
1.490	0.169 6	1.500	0.174 1
1.491	0.169 8	1.501	0.172 2
1.492	0.169 9	1.502	0.170 7
1.493	0.172 7	1.503	0.174 6
1.494	0.184 3	1.504	0.205 4
1.495	0.246 9	1.505	0.187 9
1.496	0.183 8	1.506	0.174 9
1.497	0.171 0	1.507	0.265 1
1.498	0.189 6	1.508	0.261 4
1.499	0.260 2	1.509	0.265 7
		1.510	0.278 1

结束语

验证结果表明,引信测试仪很好地满足了设计要求,具有界面好、功能改进、使用简便、功能可扩展性强、结构升级、系统可维护等优点。可为未来引信测试仪的设计提供很好的参考。

参考文献

- [1] 邹腾,李建新.引信全电子安全系统升压电路参数仿真方法[J].探测与控制学报,2021
- [2] 肖龙远,李虹,胡斌,黄琨.引信起爆控制电路冗余设计技术研究[J].火炮发射与控制学报,2021
- [3] 李晓晶.引信全电子安全系统控制电路设计与分析[D].中北大学,2020
- [4] 王帅帅.引信电子安全与控制系统设计[D].北华航天工业学院,2020
- [5] 高智安.利用弹道修正信息的引信安全起爆控制系统设计[D].南京理工大学,2020
- [6] 王兵,阮朝阳.全电子安全系统通用引信测试仪设计[J].测

控技术,2019

- [7] 郑松,史占付,康兴国.引信全电子安全系统电磁兼容性改善方法[J].探测与控制学报,2019
- [8] 王兵.遥测用全电子安全系统引信的信号变换盒设计[J].探测与控制学报,2019

收稿日期: 2022 年 9 月 16 日

出刊日期: 2022 年 10 月 25 日

引用本文: 高明, 叶亮, 强电磁干扰下全电子引信通信孔的可靠性分析[J]. 电气工程与自动化, 2022, 1(3): 76-79

DOI: 10.12208/j.jeea.20220038

检索信息: RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS