

文章编号 1005-0388(2011)06-1187-07

无线电引信调幅波电磁辐射 环境效应研究

陈亚洲¹ 程二威¹ 费支强¹ 高磊²

(1. 军械工程学院静电与电磁防护研究所, 河北 石家庄 050003; 2. 73075 部队装备部, 江苏 新沂 221400)

摘 要 为了研究调幅波对无线电引信的电磁环境效应, 分析了无线电引信混频原理及高频电路输出信号特征, 解决了调幅波的波形调制问题, 建立了辐照调幅波的波形表达式, 形成了无线电引信辐照电磁环境, 探索了不同频率调幅波对引信的意外发火场强干扰阈值及其变化规律。结果表明: 辐照频率在引信本振频率外一定范围内引信误炸干扰阈值低于 10 V/m, 随着辐照频率与引信本振频率偏移量增加误炸干扰阈值呈增大趋势; 调幅波辐照不会对引信电子部件产生硬损伤, 也不会导致引信瞎火。

关键词 无线电引信; 调幅波; 作用机理; 辐照效应; 意外发火

中图分类号 TJ43; O441

文献标志码 A

1. 引 言

无线电引信的出现是引信发展史上的一次重大技术革命, 由于它不是利用触觉, 而是利用目标回波所携带的位置、速度等信息确认目标, 因此比触发引信和时间引信更能有效地发挥弹丸对目标的毁伤效能, 被称为是现代武器系统终端效能的倍增器, 已经成为引信发展的主要方向。在引信向着高度电子化、智能化发展的同时, 无线电引信内部电路对电磁信号的敏感性越来越高, 控制引信触发的信号往往非常弱, 如果采取的防护措施不完善, 很可能会受到各种有意和无意电磁信号的干扰, 影响其战斗效能的发挥, 甚至会影响安全性。所以易受电磁干扰是无线电引信主要缺点之一^[1-4]。无线电引信的干扰与抗干扰研究始终伴随着无线电引信的发展过程, 无线电引信可能遭受的干扰主要有两种, 一是无意干扰, 主要是电磁环境的威胁; 另一种是有意干扰, 主要是无线电引信干扰机的干扰。

常用的无线电引信人工有源干扰方式主要有^[1-2]: 扫频干扰、阻塞式干扰、瞄准式干扰、回答式干扰等。每种干扰样式可以实现多种调制, 如杂波、正

弦波、方波、三角波等。对于多普勒无线电引信来说, 上述干扰信号调制形式由于没有模拟多普勒信号的特征, 并且引信具有工作时间短、占用频段宽、作用距离近等特点, 导致上述调制方式干扰效率不高。靶场试验表明: 瞄准式干扰和扫频式干扰对抗干扰能力不强的连续波多谱勒引信的干扰效果很好, 但在干扰具有增幅速率选择特性的连续波多谱勒引信时, 却很难奏效, 原因是这两类干扰的信号波形都无法通过增幅速率检测电路。理论上讲, 可以模拟多谱勒频移和增幅特征的转发欺骗式干扰, 可通过最大限度的模拟回波产生出最有效的干扰波形, 但干扰波形设计却是困扰试验的难点。63861 部队李洪涛等研究了如何构建更加高效的干扰波形, 得出采用转发式干扰时, 干扰波形的增幅调制是关键, 指数幅度调制可使干扰波形的增幅速率在较大范围内变化, 增加了干扰信号通过引信选择电路的概率, 而转发多谱勒频率可在真实多谱勒频率附近较大范围内选择。所以采用指数幅度调制的模拟回波可作为最佳干扰波形使用^[5]。

随着各种集成电路尤其是引信专用集成电路 (ASIC) 在现代引信中的广泛应用和战场电磁环境的日趋复杂, 无线电引信战斗效能的发挥受到电磁环境

收稿日期: 2011-01-05

基金项目: 国家自然科学基金(51077132)

联系人: 陈亚洲 E-mail: chen_yazhou@sina.com

的严重威胁^[6]。引信电磁环境效应问题的研究已成为引信抗干扰研究新的发展方向,世界各国都制订了引信电磁环境方面的有关标准,以确保引信在电磁环境中的安全性和可靠性。军械工程学院深入研究了无线电引信的电磁环境效应,包括静电放电(ESD)、雷电电磁脉冲(LEMP)、高功率微波(HPM)、超宽带(UWB)等强电磁源对无线电引信的电磁辐照效应、作用机理及防护措施,得出了一系列重要的实验结论^[7-12]。现代无线电引信除了可能受到上述高功率电磁环境威胁外,更为普遍的是会受到雷达、通讯、导航、电子对抗等辐射体产生的连续波电磁环境威胁,研究无线电引信连续波辐照效应显得迫在眉睫。正弦波是最基本的连续波,研究其对典型无线电引信的辐照效应,是分析连续波对无线电引信辐照效应的实验基础,对评估无线电引信的抗电磁危害能力,分析能量耦合途径和作用机理,研究防护加固措施,提高我军无线电引信的电磁防护能力具有重要的实用价值和军事效益。

对于模拟多普勒信号调幅干扰形式,北京理工大学通过研究多普勒引信自差机牵引振荡特性得出结论^[3-4,13]:引信自差机易受牵引而存在信道泄漏,当外加信号使自差机处于牵引状态时,只要对干扰射频信号用类似于引信工作的多普勒信号进行调幅,就可以使自差机输出端输出类似于多普勒信号的干扰信号,使引信意外发火,其研究工作集中在引信的牵引频带范围内,并且研究结果没有进行相应实验。基于此,本文以某型多普勒无线电引信为研究对象,进一步研究在引信牵引频带范围外较宽频带范围内,分析模拟多普勒信号调幅高频辐照载波的特性,揭示其对无线电引信的作用机理,研究其对无线电引信的辐照效应,测量误炸干扰阈值。

2. 无线电引信混频原理及高频电路输出信号特征分析

无线电引信自差机实质上是一个带有收发天线和检波电路的逻辑电路(LC)电容三点式自激振荡器,其中的晶体三极管除了本身是一个自激振荡器外,还要完成接收信号与本振信号的混频功能^[14]。其混频功能原理如图1所示^[15]。

在图1中,直流偏置电压 V_{BB} 主要是使晶体管工作于合适的非线性状态。输入信号电压为 u_s 和 u_l 。一般情况下,本振信号 u_l 较大,输入信号 u_s 较小,晶体管的工作状态主要由 V_{BB} 和 u_l 决定。

设本振信号 $u_l = U_{lm} \cos \omega_l t$,接收干扰信号 $u_s =$

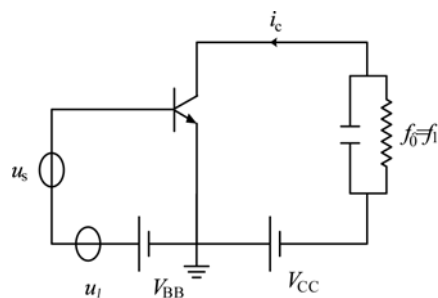


图1 三极管混频原理图

$U_{sm} \cos \omega_k t$, 由于 $U_{lm} \gg U_{sm}$, 则基极回路电压为

$$\begin{aligned} u_{BE} &= V_{BB} + u_s + u_l \\ &= V_{BB} + U_{sm} \cos \omega_k t + U_{lm} \cos \omega_l t \end{aligned} \quad (1)$$

由于集电极电流主要受直流偏置与本振信号控制,输出电流 i_c 可在时变电压 $(V_{BB} + u_l)$ 上用泰勒级数展开,由于 u_s 值很小,其高阶导数就更小,忽略展开式中第三项以后的各项,只取前两项,于是有

$$i_c = f(V_{BB} + u_l) + f'(V_{BB} + u_l) u_s \quad (2)$$

式中: $f(V_{BB} + u_l)$ 为 $u_{BE} = V_{BB} + u_l$ 时的集电流;

$f'(V_{BB} + u_l) = \frac{\partial i_c}{\partial u_{BE}} = g(t)$ 为 $u_{BE} = V_{BB} + u_l$ 时晶体管的跨导。

由于振荡电压 u_l 的存在,所以 $f(V_{BB} + u_l)$ 与 $f'(V_{BB} + u_l)$ 都是 u_l 的函数,故有

$$\begin{aligned} i_c &= I_{co} + I_{clm} \cos \omega_l t + I_{c2m} \cos 2\omega_l t + \cdots + \\ &\quad (g_0 + g_1 \cos \omega_l t + g_2 \cos 2\omega_l t + \cdots) U_{sm} \cos \omega_k t \\ &= (I_{co} + I_{clm} \cos \omega_l t + I_{c2m} \cos 2\omega_l t + \cdots) + \\ &\quad U_{sm} \left[g_0 \cos \omega_k t + \frac{g_1}{2} \cos(\omega_l - \omega_k) t + \right. \\ &\quad \left. \frac{g_1}{2} \cos(\omega_l + \omega_k) t + \frac{g_2}{2} \cos(2\omega_l - \omega_k) t + \right. \\ &\quad \left. \frac{g_2}{2} \cos(2\omega_l + \omega_k) t + \cdots \right] \end{aligned} \quad (3)$$

式中: I_{co} 、 I_{clm} 、 I_{c2m} 、 g_0 、 g_1 、 g_2 分别为只加振荡电压时,集电极电流中的直流、基波和二次谐波分量,以及跨导的平均分量、基波和二次分量。

由于 g_0 、 g_1 、 g_2 只与晶体管特性、直流工作点及本振电压有关,故混频后输出的各电流分量振幅与输入的高频信号电压的振幅都成正比,若高频信号电压振幅按一定规律变化,输出各分量电流振幅也按相同的规律变化。也就是说,干扰信号经混频后,只改变了信号的载波频率,包络波形没有改变。

无线电引信自差机振荡三极管的混频特性分牵引状态与非牵引状态两种情况。当辐照干扰信号频率与自差机本振频率相差不大,且辐照场强足够大

时,自差机将处于牵引状态,其振荡信号频率与辐射干扰信号高频载波频率相同,显然此种情况下,自差机输出信号与辐照信号特征一样,包络波形即为辐照干扰信号包络波形。当辐照干扰信号频率与自差机本振频率相差较大,且辐照场强较小时,自差机处于非牵引状态,在这种情况下,干扰信号与本振信号混频后输出的各分量电流振幅与输入的高频信号电压的振幅都成正比,各输出分量的包络波形都与辐照干扰信号包络波形相同。

自差机混频信号输送到引信检波滤波电路,该检波滤波电路相当于一个三极管包络检波器,其功能为利用三极管的非线性,截取混频信号的正半周期,滤掉高频分量,由输出端得到低频信号,即输出混频信号包络波^[15]。由于不管自差机处于什么状态,干扰信号、引信本振信号混频后输出的信号包络波形都与干扰信号包络波形相同。因此,用模拟多普勒信号调制高频波对引信进行辐照,只要辐照信号能量能够耦合进入引信天线,那么引信高频电路就能输出模拟的多普勒信号,从而通过引信低频电路,推动执行级电路导致引信意外发火。

3. 调幅波的多普勒信号调制

无线电引信的多普勒信号包含了反映目标信息的两个特征量:一个是回波信号振幅,它包含了目标距离信息,随着弹目接近而逐渐增加;另一个是多普勒频率,它包含了目标相对速度信息和方位信息。本文试验用的某型无线电引信配用于对地面目标的弹丸,多普勒频率基本不变。因此,对于多普勒信号的模拟,有两个关键参数,一是多普勒信号的频率,二是振幅要有增幅速率,即振幅要逐渐增大。

调幅波的特点是载波的振幅受调制信号的控制作周期性的变化。这种变化的周期与调制信号的周期相同,而振幅变化则与调制信号的振幅成正比。

本文采用低频正弦波信号对与多普勒信号频率相当的正弦波信号进行调制,模拟振幅逐渐增大的多普勒信号,再用此信号对辐照高频波进行二次调制。

设调制信号为正弦波,并且初始相位为0,其表达式为

$$v_{\Omega} = V_{\Omega} \cos \Omega t \quad (4)$$

式中: v_{Ω} 为调幅波电压; V_{Ω} 为振幅; Ω 为角频率。

同样,设载波为正弦波,初始相位为0,其表达式为

$$v_0 = V_0 \cos \omega_0 t \quad (5)$$

那么调幅波的振幅为

$$V(t) = V_0 + k_a V_{\Omega} \cos \Omega t \quad (6)$$

式中, k_a 为与调幅电路有关的常数。

因此,调幅波可以用下式表示为

$$\begin{aligned} v(t) &= V(t) \cos \omega_0 t \\ &= (V_0 + k_a V_{\Omega} \cos \Omega t) \cos \omega_0 t \\ &= V_0 (1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_0 t \end{aligned} \quad (7)$$

式中: $m_a = \frac{k_a V_{\Omega}}{V_0}$ 叫做调幅指数或调幅度,它通常用百分数来表示。

通过 MATLAB 仿真得到,式(7)所表示的调幅波形如图2所示。

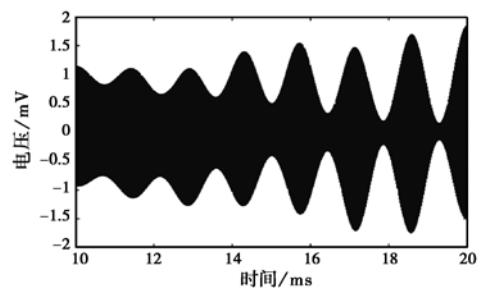


图2 低频调幅波形

由图2可得

$$m_a = \frac{\frac{1}{2}(V_{\max} - V_{\min})}{V_0} = \frac{V_{\max} - V_0}{V_0} = \frac{V_0 - V_{\min}}{V_0} \quad (8)$$

m_a 的数值范围可自0(未调幅)到1(百分之百调幅),它的绝对值不应超过1。因为如果 $m_a > 1$,那么,会得到图3所示的波形。

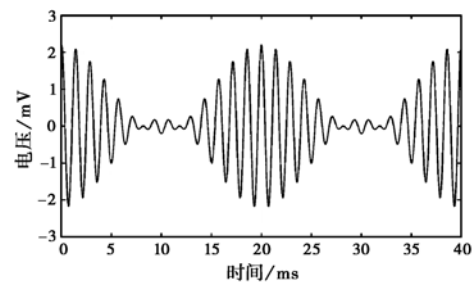


图3 过调幅波形

由图3可知,如果 $m_a > 1$,有一段时间已调幅波形的振幅为零,这时已调幅波形的包络产生了严重失真,这种情况叫做过调幅。这样的调幅波经过检波后不能恢复原来调制信号的波形,而且占据的频带宽。因此,过调幅必须尽力避免。

由图2可以看出,在调制信号(包络线)的前四

分之一周期,已调波的振幅逐渐增大。为了便于观察,调整仿真时间,取调制信号的前四分之一周期,得到如图 4 所示的调幅波形。

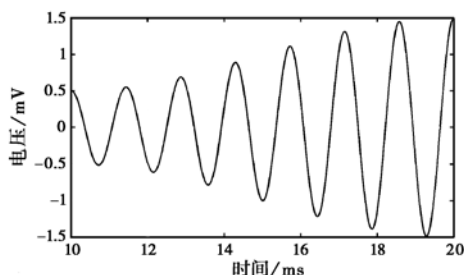


图 4 调幅波四分之一波形

这样,就得到有增幅速率的模拟多普勒信号,多普勒信号频率由载波频率决定,增幅速率的大小由载波信号的振幅以及调幅度 m_a 决定,模拟的多普勒信号(已调制波)有增幅的波数由调制信号频率与载波信号频率决定。由引信低频电路信号流程仿真分析可知:引信有带通滤波和选频放大电路,只有与多普勒信号频率相当的信号才能通过此电路,并被放大作用于后续电路;引信设有增幅速率选择电路,只有信号的增幅速率达到一定值后,引信才能发火;受试引信还设有抗干扰支路,只有多普勒信号到来并经过几个周期后,输出信号才由高电平转换为低电平,打开对后续电路的闭锁。因此,对调幅波的调幅度、载波振幅、调制信号和载波信号频率进行调整,可以得到满足引信起爆要求的模拟多普勒信号。

由于模拟的多普勒信号频率低,只有几百赫兹,一方面很难用天线直接辐射出去,更重要的是,引信天线是高频天线,无法直接接收模拟的多普勒信号。只有将模拟的多普勒信号作为调制信号,进一步调制引信能够接收的高频载波辐照信号,再用相应天线进行辐照试验。

多普勒信号的振幅为

$$V(t) = V_0 + k_a V_\Omega \cos \Omega t \quad (9)$$

设高频载波信号为

$$v_1 = V_1 \cos \omega_1 t \quad (10)$$

则辐照调幅波振幅的表达式为

$$V_1(t) = V_1 + k_b (V_0 + k_a V_\Omega \cos \Omega t) \cos \omega_1 t \quad (11)$$

式中, k_a 与 k_b 是为与调幅电路有关的常数。

因此,辐照调幅波的波形表达式为

$$v_1(t) = [V_1 + k_b (V_0 + k_a V_\Omega \cos \Omega t) \cos \omega_1 t] \cos \omega_1 t \quad (12)$$

对于以上波形表达式,用 MATLAB 软件进行

仿真,可得到辐照波的仿真波形。为了便于观察最终辐照调幅波的包络线,仿真时间取第一次调幅时调制信号的四分之一周期,得到仿真波形如图 5 所示。

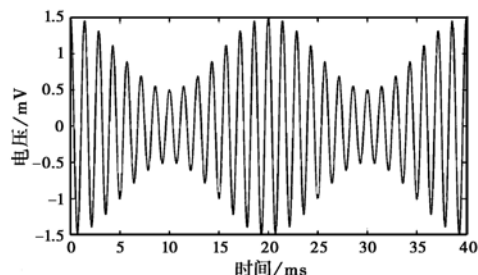


图 5 用于辐照实验的调幅波形

由于辐照用载波信号频率很高,而调制所用模拟多普勒信号频率很低,在图 5 中不能看到载波信号的振荡周期,但是可以明显看出,经过模拟多普勒信号调制后的辐照高频信号,振幅随模拟多普勒信号振幅变化而变化,其振幅包络线即为模拟多普勒信号。

至此,得到了包含模拟多普勒信号的辐照信号。

从图 5 中可以看出,辐照波形有明显增幅速率多普勒信号特征,耦合进入引信天线后,引信高频电路会输出模拟多普勒信号,导致引信意外发火。

4. 调幅波对无线电引信辐照试验

4.1 实验系统

连续波辐射系统:由 SMR20 微波信号发生器、33220A 型函数发生器、200T1G3AM5 功率放大器、双通道功率计、喇叭天线等装置构成。信号发生器产生一定频率的等幅正弦波信号,用 33220A 型函数发生器进行调幅,用 200T1G3AM5 功率放大器进行功率放大,通过双向耦合器由喇叭天线辐射调幅波,对被试无线电引信进行辐照。调节信号发生器的 RF 电平、功率放大器的增益、被试无线电引信与喇叭天线之间的距离可以改变辐照强度。监测系统主要设备包括 EMR-200 电磁辐射场强测试仪及 TDS7404B 数字存储示波器。电磁辐射场强测试仪用来测量引信的辐照强度,示波器用来观测引信发火信号、执行级电路控制电位,通过上述数据及现象来分析研究被试无线电引信的辐照效应。

4.2 无线电引信改装

试验选用目前大量装备我军部队的某型无线电引信(本振频率 f_0)为实验对象,为便于实验,实验前对引信进行了改造。

去掉引信保险机构、传爆序列,去掉电点火头、连接等阻值电阻,用屏蔽线将原电点火头两端的发火信号取出接至数字存储示波器,通过观察示波器是否有引信发火信号判断引信是否发火。实际工作状态的引信依靠弹体飞行中的风力,利用涡轮发电机供电,改装后涡轮发电机供电线路与引信高低频电路正常连接,保证引信电子线路没有变化,利用直流稳压电源通过屏蔽线对引信供电。将引信发火信号、执行级电路控制电位取出接至示波器,并进行有效屏蔽。改装后,引信工作频率和检波电压没有变化,用研制的引信目标模拟器检测^[16],引信正常发火,说明改装后引信工作性能没有改变。

4.3 调幅波辐照实验

课题组前期开展了等幅正弦波对无线电引信辐照试验研究工作,研究结果表明^[17-18]:低于 200 V/m 的等幅正弦波辐照对无线电引信的勤务处理安全性没有影响;等幅正弦波辐照能使处于工作状态的引信意外发火,弹体轴线与辐射场传播方向一致,自差机天线两个管脚连线与辐射场电场方向一致时,被试无线电引信对等幅正弦波电磁辐照最敏感,为能量最佳耦合方向。

按无线电引信和连续波电磁辐射能量最佳耦合方向放置,在其工作状态进行辐照试验。具体实验方法:将引信按最佳耦合方向放置好,调试好辐照系统,选定信号源频率,由小到大调节信号源 RF 电平以及功率放大器增益,直到示波器检测到发火信号,记录此时场强;引信发火后,降低辐照场强,引信不再发火时,用手持式有源变阻抗目标模拟器^[11](以下简称目标模拟器)检测引信是否正常发火;每次辐照后,关闭辐射源,使用目标模拟器检测,检测引信是否正常发火。

实验引信样本量为 5 发,通过对 5 发引信实验均发现:一定频率调幅波辐照能使被试无线电引信意外发火,其意外发火场强阈值变化规律、各种实验现象相似,取其中一发引信实验数据进行分析,其中辐照频率和引信本振频率之差和引信误炸场强之间的关系如表 1 所示。

表 1 中,频率差指辐射频率与引信本振频率 f_0 之差。分析表 1 实验数据,可得出以下结论:调频波辐照能使处于工作状态的引信发火,辐照频率不同,引信意外发火场强干扰阈值不同;辐照频率在引信本振频率外一定范围内,引信误炸干扰阈值较小,干扰阈值低于 10 V/m,但是随着辐照频率与引信本振频率偏移量增加,误炸干扰阈值呈增大趋势。

表 1 调幅波电磁辐照导致引信误炸阈值

频率差/MHz	场强/V/m	频率差/MHz	场强/V/m
-100	8.35	0	0.38
-90	6.24	10	1.18
-80	4.99	20	1.55
-70	3.89	30	1.78
-60	3.26	40	2.04
-50	3.02	50	2.46
-40	2.86	60	2.75
-30	2.64	70	2.84
-20	2.27	80	3.24
-10	1.64	90	4.14

根据试验中目标模拟器检测情况,还得到以下结论:

1) 在调幅波电磁辐射使无线电引信意外发火后,降低辐照场强,无线电引信不再发火,用目标模拟器检测,引信仍能正常输出起爆信号,说明调幅波电磁辐照不会影响引信误炸功能,不会造成引信瞎火;

2) 在每次调幅波电磁辐照后,关闭辐射源,用目标模拟器检测被辐射的无线电引信性能,引信仍能正常工作,说明调幅波电磁辐照不会对引信产生硬损伤。

5. 结 论

无线电引信是信息化弹药能否发挥战斗效能的关键部件,无线电引信战斗效能的发挥与其防电磁危害的能力紧密相联。由于自差式多普勒无线电引信振荡三极管同时作为振荡器与混频器使用,用模拟多普勒信号调制辐照干扰信号,由无线电引信自差机天线接收,经混频、检波滤波后输出模拟多普勒信号,从而导致引信意外发火。调幅波电磁辐照实验研究表明:模拟多普勒信号调幅波辐照不会造成引信瞎火,也不会对引信电子部件造成硬损伤,但会导致引信意外发火,发火场强阈值较小。该型无线电引信对复杂电磁环境下的抗电磁干扰能力有待进一步改进,需要深入研究电磁防护加固措施,提高其复杂电磁环境下的战场生存能力。

参考文献

[1] 方胜良,余莉,顾有林. 无线电引信干扰分析[J]. 电子对抗技术, 1999, 12(3): 19-22.
FANG Xenlian, YU Li, GU Yuolin. Interfering analyse of radio fuze[J]. Electron Antagonistic Tech-

- nique, 1999, 12(3): 19-22. (in Chinese)
- [2] 余叔涵. 无线电引信原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1982.
- [3] 韩传钊. 无线电引信的信道干扰和机理研究[J]. 航天电子对抗, 1999, 18(3): 30-34.
HAN Chuanshao. Study on the channel interference and mechanism of radio fuze[J]. Electron Interfering of Spaceflight, 1999, 18(3): 30-34. (in Chinese)
- [4] 韩传钊. 无线电引信干扰机理研究[D]. 北京: 北京理工大学, 1999.
- [5] 李洪涛, 宋文利, 张娜. 一种连续波多普勒引信的干扰波形研究[J]. 电子信息对抗技术, 2009, 24(4): 63-67.
LI Hongtao, SONG Wenli, ZHANG Na. Jamming waveform design on continuous wave doppler fuse[J]. Electronic Information Warfare Technology, 2009, 24(4): 63-67. (in Chinese)
- [6] 齐杏林. 引信电磁环境试验的进展对技术保障的影响[J]. 探测与控制学报, 1996, 18(6): 24-27.
QI Xinglin. The influence of electromagnetism environmental experiment progress to radio fuze technical-guarantee[J]. Journal of Detection & Control, 1996, 18(6): 24-27. (in Chinese)
- [7] 陈亚洲. 雷电电磁脉冲场理论计算及对电引信的辐射效应实验[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2002.
- [8] 魏光辉, 陈亚洲, 孙永卫. 微波辐照对无线电引信的影响与作用机理[J]. 强激光与粒子束, 2005, 17(1): 88-92.
WEI Guanghui, CHEN Yazhou, SUN Yongwei. Effects and effecting mechanism of microwave irradiation on the radio fuze[J]. High Power Laser & Particle Beams, 2005, 17(1): 88-92. (in Chinese)
- [9] 王韶光, 魏光辉, 陈亚洲, 等. 超宽谱对无线电引信的作用效应实验研究[J]. 高电压技术, 2006, 32(11): 78-80.
WANG Shaoguang, WEI Guanghui, CHEN Yazhou. Experimental research on the radiation effect of the UWS-HPM to radio fuze[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(11): 78-80. (in Chinese)
- [10] 陈亚洲, 魏光辉, 刘尚合. 强电磁场对某型无线电引信安全性影响[J]. 强激光与粒子束, 2005, 17(7): 1047-1051.
CHEN Yazhou, WEI Guanghui, LIU Shanghe. Effect of lightning electromagnetic environment on radio fuze[J]. High Power Laser & Particle Beams, 2005, 17(7): 1047-1051. (in Chinese)
- [11] 陈亚洲, 刘尚合, 魏光辉, 等. 雷电电磁脉冲模拟研究[J]. 电波科学学报, 2000, 15(9): 265-268.
CHEN Yazhou, LIU Shanghe, WEI Guanghui, et al. Research on simulation of lightning electromagnetic pulse[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2000, 15(9): 265-268. (in Chinese)
- [12] 谭志良, 刘尚合, 林永涛. 电子系统电磁损伤评估方法研究[J]. 电波科学学报, 2007, 22(5): 821-824.
TAN Zhiliang, LIU Shanghe, LIN Yongtao. Study of evaluation methods on electromagnetic damage of electronic system[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2007, 22(5): 821-824. (in Chinese)
- [13] 李国林, 施聚生, 李银林. 引信信道特征与信息处理研究[J]. 探测与控制学报, 1999, 21(2): 9-12.
LI Guolin, SHI Jusheng, LI Yinlin. Study on the channel character and information disposal[J]. Journal of Detection & Control, 1999, 21(2): 9-12. (in Chinese)
- [14] 李彦学, 智墩旺. 无线电与电子时间引信[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1996.
- [15] 吴慎山. 高频电子线路[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [16] 王韶光. 无线电引信超宽带辐照效应及防护加固研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2008.
- [17] 费支强, 魏光辉, 耿利飞. 无线电引信等幅正弦波辐照效应实验研究[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(17): 5120-5123.
FEI Zhiqiang, WEI Guanghui, GENG Lifei. Study on experiments and effects of invariable amplitude sine wave irradiation to a certain radio fuze[J]. Science Technology and Engineering, 2009, 9(17): 5120-5123. (in Chinese)
- [18] 费支强, 魏光辉, 耿利飞. 正弦波辐照对无线电引信的作用机理研究[J]. 电波科学学报, 2010, 25(2): 318-322.
FEI Zhiqiang, WEI Guanghui, GENG Lifei. Research on the effecting mechanism of sine wave irradiation to radio fuze[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2010, 25(2): 318-322. (in Chinese)

作者简介



陈亚洲 (1975—), 男, 江苏人, 博士, 军械工程学院静电与电磁防护研究所副教授、硕士生导师, 主要从事兵器防电磁危害理论与技术研究。



费支强 (1972—), 男, 四川人, 博士研究生, 主要从事电磁环境效应及防护技术研究。



程二威 (1983—), 男, 河南人, 硕士, 军械工程学院静电与电磁防护研究所讲师, 主要从事复杂电磁环境模拟与强场效应评估技术研究。

Radiation environment effects of amplitude modulation wave on a certain radio fuze

CHEN Ya-zhou¹ CHENG Er-wei¹ FEI Zhi-qiang¹ GAO Lei²

(1. *Electrostatic and Electromagnetic Protection Institute, Mechanical
Engineering College, Shijiazhuang Hebei 050003, China;*

2. *No. 73075 Unit Equipment Department of PLA, Xinyi Jiangsu 221400, China)*

Abstract To investigate the electromagnetic environment effects of the amplitude modulation wave on radio fuze, the mixing theory and the output signal character of high frequency circuit are analyzed, and the problems of waveform modulate are resolved. The modulate waveform expression and the radio fuze radiation electromagnetic environment is established. The experiment is done to find out the threshold field intensity for accidental explosion and the variable rules of the radio fuze. The conclusions show that when radiation frequency is appressed with the vibration frequency, the threshold field intensity is less than 10V/m. With the frequency deviation increasing, the threshold field intensity becomes larger. The electronic components of the radio fuze is not destroyed.

Key words radio fuze; amplitude modulation wave; action principle; irradiation effect; accidental explosion