

文章编号:1009-671X(2007)03-0026-04

# 脉冲天线测量中的同步问题研究

刘木林<sup>1</sup>,傅泉华<sup>2</sup>,张士选<sup>1</sup>

(1. 西安电子科技大学 天线与微波技术国家重点实验室,陕西 西安 710071;2. 空军装备研究院 雷达研究所,北京 100085)

**摘要:**在进行脉冲天线测量时,微波接收机必须与输入的射频脉冲保持同步,使接收机的响应最大,以减少误差、获得最好的测量精确度。在此就同步问题研究了触发延迟对脉冲天线测量的影响及其应用方式,并根据实测数据讨论了不同脉冲参数下触发延迟的选择要求及其对可重复性的影响。

**关键词:**脉冲天线测量;微波接收机;同步;触发延迟

中图分类号:TN821.91 文献标识码:A

## Study of synchronization in pulsed antenna measurements

LIU Mu-lin<sup>1</sup>, FU Quan-hua<sup>2</sup>, ZHANG Shi-xuan<sup>1</sup>

(1. National Key Laboratory of Antennas and Microwave Technology, Xidian University, Xi'an 710071, China; 2. Institute of Radar of the Air Force Equipment Academy, Beijing 100085, China)

**Abstract:** In order to reduce errors and obtain highest measurement precision, microwave receiver must be synchronized with input RF pulse to maximize receiver response. This paper studies the influence of trigger delay on pulsed antenna measurements and the application manner and discusses the choice and the effect on the system repeatability of trigger delay with different pulse parameters based on observed data.

**Keywords:** pulsed antenna measurements; microwave receiver; synchronization; trigger delay

脉冲天线测量是20世纪90年代发展起来的新型天线测量技术,由于它较之连续波测量具有明显的优势:它发射的是时间短脉冲周期信号,可以实现通过一次测量即可知道天线在所有频率点上的频率特性的目的,加上时间门限的作用,可以消除多次反射的影响,再加上有源发射/接收组件的出现,使得脉冲天线测量技术在进行脉冲工作模式下的测试,多频点、多波束状态下的快速测试,大功率发射和小功率接收模式下的测试方面具有巨大的优越性和发展前景。随着天线设计和天线测量技术的不断发展,在脉冲射频环境下表征天线就变得越来越普遍了。评价一个测量系统的好坏主要看其测量精度的大小,提高测量精度就要增加系统的信噪比,这对于脉冲天线测量技术来说就涉及到其最关键的问题——同步问题。简单来说,就是微波接收机必须与输入的

射频脉冲同步。一般而言,一台接收机一旦做好了,接收机的稳定时间等性能参数也就固定了,要做到接收同步,主要是通过调节触发延迟,在射频脉冲的正确时间点触发接收机进行抽样,以使得接收机的响应最大。

## 1 理论分析

抽样位置的改变会对实测脉冲响应引入一定的误差。如果信号的斜率是一个常数,那么电压的误差就等于不稳定分布乘以斜率,如图1所示。如果信号的斜率不是常数,由不稳定性所引起的误差分析就更为复杂<sup>[1-2]</sup>。脉冲形状的变化会引起幅度的变化,而脉冲位置的变化则会引起相位误差。根据傅里叶理论可以知道:当有 $\Delta t$ 的漂移时,相位偏差 $\Delta\phi$ 为<sup>[3]</sup>

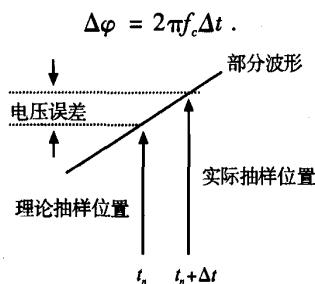


图 1 脉冲测量中的不稳定性

触发延迟是基于射频调制脉冲的,它是从射频调制脉冲的开始边沿算起所延迟的时间。对于长脉冲,除了它的前沿部分,看起来更像 CW,接收机的响应也是如此,故对于长脉冲而言,对于触发延迟的限制就很宽松。但是,当运行于非常短的脉冲时,会发现接收机的灵敏度会下降,失真也非常明显,因为在短脉冲期间,其峰值功率减少,接收机中频滤波器的能量累积不足以达到峰值稳定状态的要求,且中频滤波器对其输出也会引进一定的信号延迟,所以,未受控制的触发同步可能会引起接收机抽样到非常低的信号值,甚至是噪声。所以在进行抽样时,仔细、适当地调节提供给接收机且与射频脉冲前沿有关的测量触发时间,确定最佳值以使得设备系统更好地运行,这对于短脉冲是非常重要的。先看看脉冲射频测量的时序图,如图 2 所示。

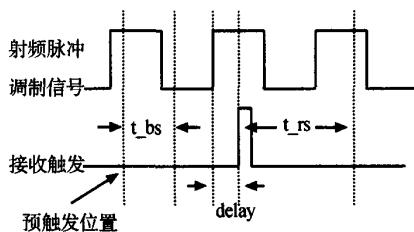
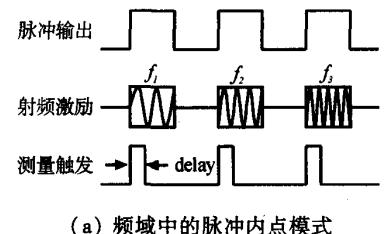


图 2 脉冲射频测量的时序图

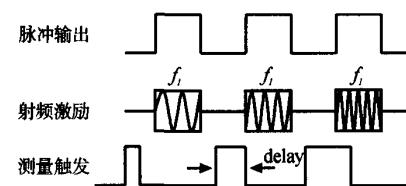
其中  $t_{bs}$  表示波束稳定时间,  $delay$  表示触发延迟时间,  $t_{rs}$  表示接收机稳定时间。可注意到:对 CW 模式而言,在波束稳定之后即可触发接收机进行抽样接收;而在脉冲工作模式下,波束稳定之后,还需有一定的触发延迟  $delay$ 。

一般来说,测量系统多工作于全脉冲特性区域。使用不同的触发延迟方式,可以进行 2 种工作模式下的测量:一种是脉冲内点模式,另一种是脉冲仿形模式,如图 3 所示。当系统工作于图 3(a)所示模式

时,使用不同的频率对脉冲进行调制,保持固定不变的触发延迟,只对脉冲内的某一固定点(这个固定点可由使用者任意设定)进行抽样,所得到的就是频率与幅度或者相位之间的关系。图 3(b)所示模式,其调制频率是相同的,触发延迟是以使用者根据实际情况设定的某一固定间隔逐渐增加的,它是对整个脉冲轮廓进行抽样,得到的是时间与幅度或者相位之间的关系,这样就可以对脉冲形状进行完全的表征,以便得到通过天线实际脉冲形状的有价值信息,如脉冲偏移、减幅畸变、热效应等。



(a) 频域中的脉冲内点模式

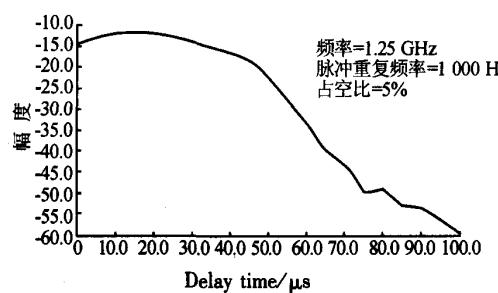


(b) 时域中的脉冲仿形模式

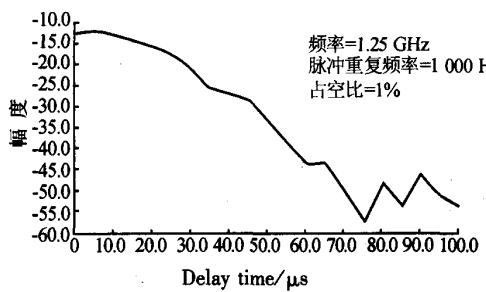
图 3 脉冲测量的 2 种工作模式

## 2 测量结果与讨论

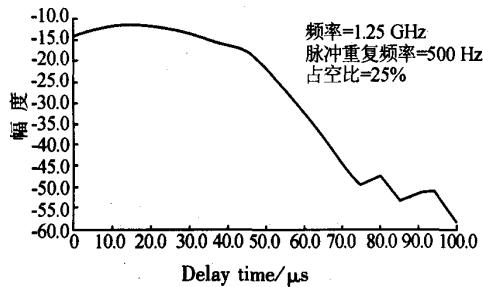
使用 Orbit 公司的 ZVRE 系列网络分析仪进行实测(其动态范围可至 80 dB)。图 4 给出了不同脉冲参数下触发延迟与接收机中频响应之间的对应关系。注意:各图的坐标范围是不一样的。



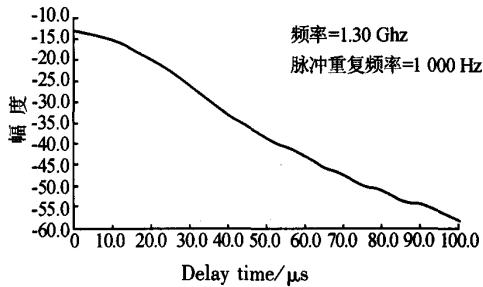
(a) 脉冲重复频率 = 1 000 Hz, 脉冲宽度 = 5%



(b) 脉冲重复频率 = 1 000 Hz, 脉冲宽度 = 10



(c) 脉冲重复频率 = 500 Hz, 脉冲宽度 = 50



(d) 脉冲重复频率 = 1 000 Hz, 脉冲宽度 = 30

图 4 接收机在不同延迟下的中频响应

从图 4(a)、(b)、(d) 中看出:对于长脉冲而言,在一定的延迟时间间隔内,脉冲响应的幅度变化不大,但在一定的延迟范围之外,脉冲包络值开始下降,使得测量结果发生很大的误差,如图 5 所示.

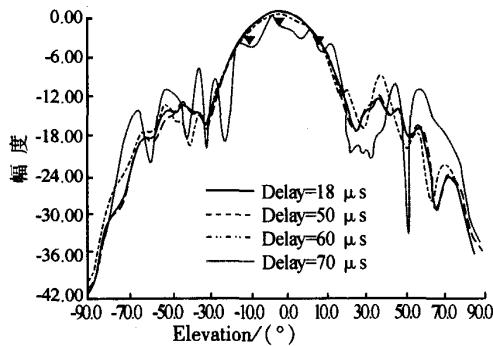
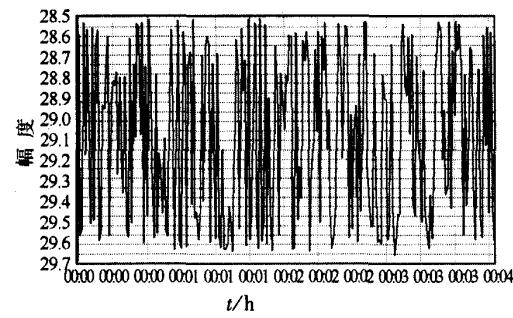


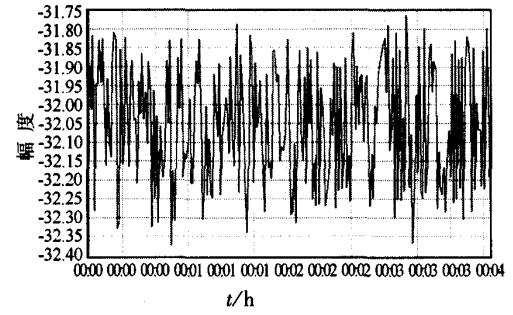
图 5 不同触发延迟下的远场方向图比较

对于短脉冲而言,由于其峰值功率的减小,包络失真已经很明显了,为达到功率及同步要求,对触发延迟的选择要求就非常高. 比较图 4(a)、(c)可以知

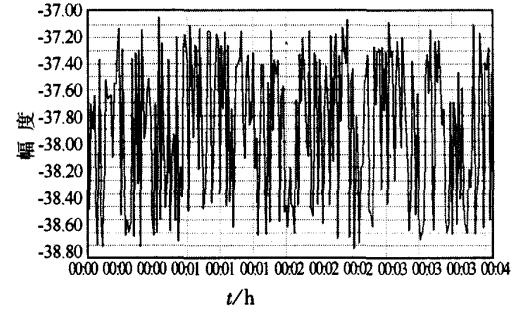
道:当只改变脉冲重复频率时,接收机的中频响应变化不是很大. 综合可得:脉冲宽度越长,其触发延迟的选择度就越大,对触发延迟的控制要求就越低;脉冲宽度越短,由于其峰值功率的减小和包络的明显失真,使得其触发延迟的选择就越严格. 在实际测量中,需要选择合适的触发延迟,使得接收机的响应最大,以满足峰值稳定状态的要求;同时又希望系统的可重复性要好. 当脉冲以不同的延迟进行抽样时,它的可重复性是变化的. 对于长脉冲而言,在一定的延迟时间间隔内,其可重复性几乎是固定的,这一点从上面的接收机响应中也可以看出来;而对于短脉冲则是不可能的. 图 6 给出了脉冲宽度为 30 μs、脉冲重复频率等于 1.30 GHz 时不同触发延迟下相位的可重复性(即为时间和相位之间的对应关系).



(a) 触发延迟 = 0



(b) 触发延迟 = 10



(c) 触发延迟 = 20

图 6 不同触发延迟下的相位可重复性

(下转第 35 页)

Arnold 置乱变换将重要数据加密嵌入到载体图像中,增强了算法的安全性和鲁棒性;并且由于小波变换适合人眼视觉的变换机制,提高了水印的不可见性,从而取得了3者的良好折衷。仿真实验结果证明了该算法对于常见的JPEG压缩、加噪、剪切等攻击显示出了较强的鲁棒性,但是其抵抗旋转和抖动的一些几何攻击的能力比较差,还有待进一步的研究。

## 参考文献:

- [1] ZHANG Xiaowei, JIANG Shiyuan. Semi-fragile watermarking algorithm based on wavelets energy [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2005, 26(1): 127-131.
- [2] ZHU Xiaodong, YUAN Senmiao, LIN Jing, et al. Spatial domain digital watermarking algorithm [J]. Journal of Jilin

University, 2003, 33(2): 56-59.

- [3] NTALIANIS K S, DOULAMIS D C, DOULAIMIS N D, et al. An automatic scheme for stereoscopic video object-based watermarking using qualified significant wavelet tree [A]. International Conference on Image Processing [C]. Rochester, USA, 2002, 3: 501-504.
- [4] 王炳锡,陈琦,王峰森.数字水印技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,2003.
- [5] 余胜生,朱峰,周敬利.一种小波域数字水印算法[J].计算机仿真,2004,21(7A): 51,57-59.
- [6] 毛秉毅.一种基于频率细化多分辨率小波变换和量化的数字图像水印新算法[J].计算机工程,2002,28(8A): 211-213.

[责任编辑:张晓京]

(上接第28页)

从图6可以看出:对于脉冲宽度等于30μs的脉冲,可重复性(均是指相位的可重复性)在10μs延迟的时候最好,在0μs和20μs的时候都比较差,即在脉冲的不同点进行的抽样其可重复性是不相同的;综合图6和图4(d)还可以看出,脉冲上具有最好可重复性的点并不是具有最高脉冲包络值的点,这主要是因为最高值点受噪声的影响比较大。一般来说,对于不同的脉冲宽度,需要设置不同的最佳脉冲延迟,既使得接收机的响应比较大,以满足峰值稳定状态要求,又具有最好的可重复性。

## 3 结束语

同步问题是脉冲天线测量中最严重的问题,它主要体现在触发延迟的选择上,而触发延迟的选择是基于脉冲重复频率、占空系数、所测频率以及系统设备性能的。系统设备完成后,在所测频率的要求下,触发延迟就是脉冲参数的函数。脉冲宽度越窄,对触发延迟的控制要求越高;且不同的触发延迟,对系统的可重复性会产生很大的影响。在脉冲天线测量中,为保持接收机与调制脉冲信号的同步,不同的

脉冲宽度需要设置不同的最佳脉冲延迟,以满足系统的功率要求和重复性要求。

## 参考文献:

- [1] RAHMAN J, SARKAR T K. Deconvolution and total least squares in finding the impulse response of an electromagnetic system from measured data [J]. IEEE Trans on Antenna and Propagation, 1995, 43(4): 416-421.
- [2] GANS W L. The measurement and deconvolution of time jitter in equivalent time waveform samples [J]. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement, 1983, 31M-32(1): 126-133.
- [3] JONGH R V D, HAJIAN M, LIGHART L P. Antenna time domain measurement techniques [J]. IEEE Antenna & propagation Magazine, 1997, 39(5): 7-12, 20.
- [4] OHNSWAN S, ROBERT S. Pulsed antenna measurements with the agilent 8530A microwave receiver [A]. AMTA Sixteenth Meeting and Symposium [C]. Long Beach, USA, 1994.

[责任编辑:张晓京]

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>

---



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>