

文章编号: 1672-2892(2011)01-0053-03

捷变频雷达本振功率曲线多变原因分析

周怀平^{1,3}, 高光磊², 顾炳永³

(1.北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100191; 2.海军驻航天一院军代室, 北京 100076;
3.中国人民解放军 91550 部队 91 分队, 辽宁 大连 116023)

摘要: 频率捷变频雷达(FAR)主要分为非相干与全相干2种, 是公认的最具发展前途的雷达之一。本文结合试验中某型号非相参 FAR 本振功率遥测曲线多变现象, 基于捷变频技术、本振系统、遥测读数等原理, 分析了曲线多变的原因, 并最终认定系统性能良好, 解释了装备鉴定部门对该类产品核心性能的长期困扰, 发挥了较高的工程效益。

关键词: 捷变频雷达; 本振; 遥测; 试验数据

中图分类号: TN851.2

文献标识码: A

Analysis of the reasons for the variation of the LO power curve in Frequency Agile Radar

ZHOU Huai-ping^{1,3}, GAO Guang-Lei², GU Bing-yong³

(1.School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China;
2.Naval Military Representative Room in the First Research Academy of Astronautics, Beijing 100076, China;
3.Department 91 of PLA Unit 91550, Dalian Liaoning 116023, China)

Abstract: Frequency Agile Radar(FAR) is recognized as the most promising radar, which is divided into incoherent and coherent types. Focusing on the varied phenomena of the remote sensing curves for Local Oscillator(LO) power in a certain FAR, this paper analyses the reasons of their variation during test basing on the Frequency Agile techniques, LO system, telemetry readings etc. The working condition of this LO system is proved to be in normal at last, which removes the long-standing worry about the key capability of this type of equipment from judge department, and exerts great engineering benefits.

Key words: Frequency Agile Radar; Local Oscillator; telemetry; test data

国内导弹试验测控数据主要由布局在全航区多点、交叠覆盖的雷测、遥测、光测设备提供^[1]。在某次试验时, 对比某非相参 FAR 的本振功率遥测数据后发现, 不同批次雷达及同一雷达的各次测试结果中, 其通过遥测数据解算的本振功率曲线差异较大。遥测曲线中有的功率曲线从测试开始即由 4.3 V 逐渐减小到 4.1 V, 随即跃升到 4.27 V 后再逐渐下降到 4.18 V; 有的功率曲线在测试全程由 1.31 V 逐渐增加到 1.37 V; 有的功率曲线由测试开始时的 3.67 V 逐渐下降到 3.55 V, 其后又出现 2 次幅度约 0.5 V、持续时间约 10 s 的跳跃; 还有的功率曲线在测试全程处于 4.17 V~4.2 V 的缓慢增长的情况。这些是雷达系统故障还是遥测设备问题, 或者该类现象不算故障? 本文就相关问题逐一分析。

1 机理分析

经初步比对分析, 从机理上看, 产生该现象的原因可能有 2 点: 遥测系统判读数据故障; 雷达本振系统功能故障。

1.1 遥测系统工作原理

遥测设备是检测试验过程中各分系统工作性能的主要手段, 它可以测量弹上雷达、综控机、发动机、电气、助推器等系统的工作参数^[2]。遥测数据处理是根据产品各方提供的遥测记录数据与物理量之间的数学关系, 将记

录下的电信号转换成所需的被测物理量或电量的过程。遥测系统通过数百个传感器和变换器,把需要采集的各种信号转换成规范化的电压信号(0 V~5 V)送到多路复用装置的输入端,随后输出群信号(经编码器或调制器变换)送给远置采编器,由发射机经发射天线传送给接收天线,接收设备将遥测接收天线收到的信号解调后存入载体,遥测数据处理软件再把储存的信息处理成技术人员熟悉的形式,如图1(a)~(d)所示。在同批遥测数据判读过程中,其余分系统的数据均正常,可以证明该遥测曲线解算正确,系统工作正常。

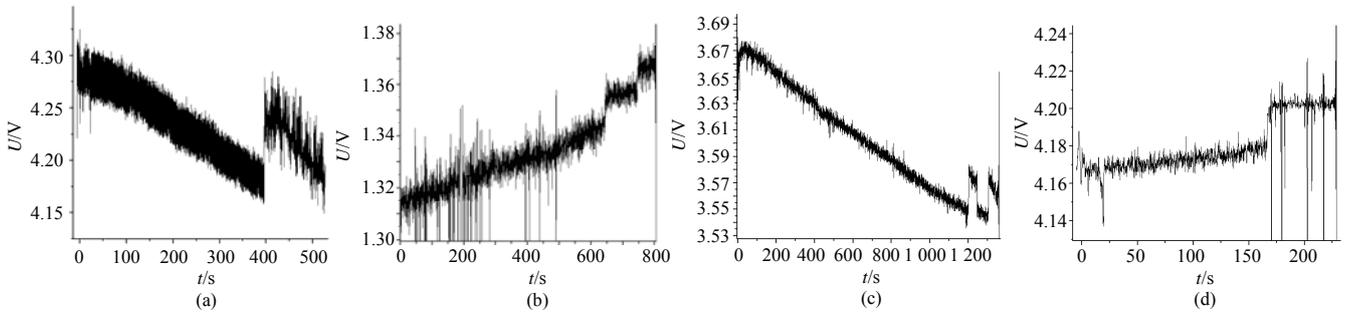


Fig.1 Four kinds of LO-power telemetry curve for FAR
图1 FAR的4种本振功率遥测曲线

1.2 非相参捷变频雷达系统工作原理

FAR技术,是一种应用于脉冲多普勒(Pulse Doppler, PD)雷达上的,相邻发射脉冲的载频按一定规律或随机方式在较宽频段内快速变化的技术。当PD脉间频差增大到一定值后,可认为其具备频率跃变特性(变频速度达 μs 级)。捷变大致可分为脉间捷变、脉组捷变、载频与重频同时捷变等几种形式^[3],图2为某型号脉间FAR的部分组成。

非相参体制的FAR系统中,通常采用旋转调谐磁控管振荡器及超外差式接收机^[4]。在捷变频状态,若要本振频率紧跟发射机磁控管频率变化,则需有一个快速响应的自动频率调整(Automatic Frequency Control, AFC)系统,针对每个发射脉冲的载频来调整本振频率。AFC工作过程为:首先,在发射脉冲之前,使本振频率跟随磁控管冷频变化,这一步通常称“冷跟”,其原理见图3;其次,在发射脉冲期间,对本振频率进行调整,使其与发射脉冲载频之差尽可能接近中频,这一步通常称“热调”。前者完成频率保持、复零、搜索、跟踪和跳变等功能,后者实现频率的预调和精调。

图3中虚线表示磁控管频率时间变化规律,设 t_0 时刻发射频率为 F_0 ,本振频率已调在比 F_0 高一个中频的 f_0 上,在 $t_0\sim t_1$ 期间雷达接收频率为 F_0 的目标回波,因此本振频率必须保持在 f_0 上不变。 t_1 时刻,接收机工作期结束时将本振频率复位至 f_1 ,然后按锯齿波的规律搜索上升,当本振频率等于磁控管冷频率 F_2 时(频率截获),搜索停止,转入“冷跟”,使本振频率与磁控管的冷频率同步变化。到下次发射前的 t_3 时刻,使本振频率跳变到预计比下一个发射脉冲的频率高一个中频的 f_3 上,然后脉冲发射期间($t_4\sim t_5$),再通过热调电路精调至 f_5 ,使之与发射频率 F_5 精确地保持中频差值。 t_5 以后本振又维持不变,然后重复上述过程。“热调”在磁控管工作期间完成,其整个过程可分为瞬变闭合时间、逼近时间、建立时间、稳定时间和瞬变开启时间。

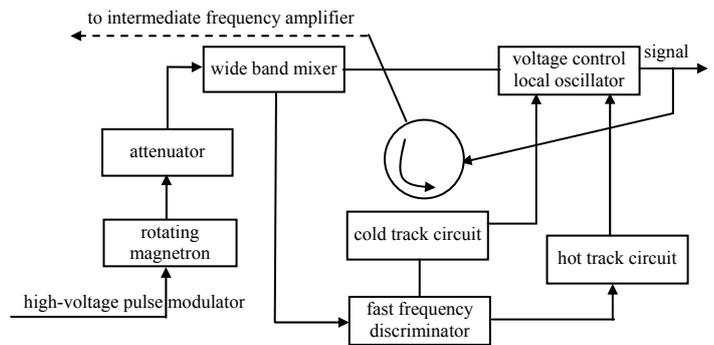


Fig.2 Composition diagram(local) of pulse to pulse FAR
图2 某型号脉间FAR组成简图(局部)

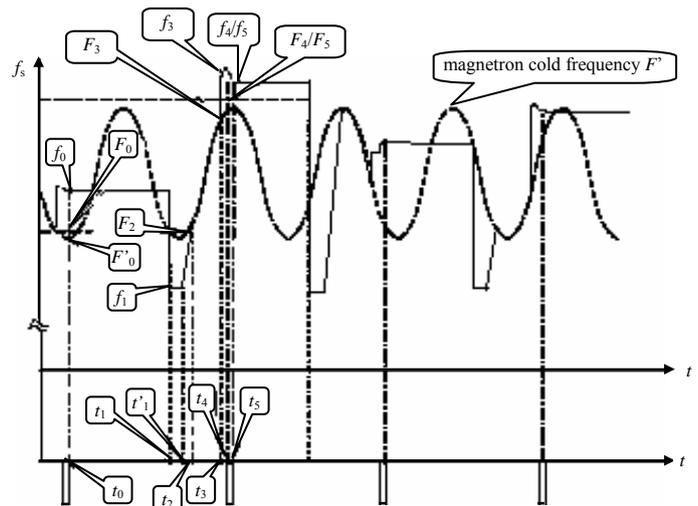


Fig.3 Diagram of LO cold track
图3 本振冷跟踪原理图

2 本振功率曲线多变原因分析

非相参雷达在捷变频时,发射脉冲载频与本振频率不相干,其在脉间高速跃变。为此,AFC应具备调整范围宽、调整速度快和调整精确度高的特性。本振通常考核其冷跟指标(速度、频率值),即冷跟电路保证本振频率跟上脉间大捷变的磁控管腔体发射冷频的能力。图1(a)~图1(d)各图均表征了该型雷达的磁控管冷频率 f_2 以及发射频率 F_5 随捷变变化的不规律性,在不同脉冲周期的冷跟阶段 f_2 变化较大,本振 f_1 相应表现出不同的数值。遥测系统在数据采集过程中,其采集器要受模数转换机制及信号调节、编码速率等各种因素的影响,再经过弹上多路复用设备以及地面解码接口,最终送至计算机终端进行解算处理。这期间本振信号的不规律性只能从其变化趋势来考核,经深入分析后认为,在电信号0 V~5 V范围内,只要本振功率电平大于3.2 V,就可认为本振冷跟正常,从这一点来看,图1的4条曲线均超过了3.2 V的阈值,可初步认为本振系统无明显故障。

此外,同一支磁控管在各频率点的冷热频差不一致,对于任何一个磁控管,在某一调谐状态下,其热频总是低于冷频^[3],各频率点冷热频差相对于均值的起伏则作为热跟踪电路的一项起始误差。发射频率在一定的时间内变化,呈现出一定的规律性或随机性,这主要取决于雷达的捷变机制。本振频率要与磁控管的冷频率同步变化,就必须在响应时间内完成。在脉间,为精确跟上发射频率以满足中频要求,本振的热跟踪系统开始起作用。曲线上的热调阶段表明,由于磁控管的某一调谐状态下,其热频出现一定的频率跳跃,再加上遥测采集机制的实时性未达到最佳效果,体现在曲线上就反映出图1的几种情况:图1(b)、图1(d)呈现的本振曲线是逐渐上升的,因为随着弹目距离的接近,回波能量(幅度)相应增加,导致本振功率发生相应变化;图1(a)、图1(c)反映出的恰是从冷跟到热跟的过渡阶段,期间磁控管的冷频展现出一定的随机性,这与各测试期间磁控管管内空气含量、阴极(电子的发射体)电压、磁场感应强度等有关,是一个很复杂的非线性对应关系,本文在此不作讨论。

综上所述,该套雷达的本振功率数据通过遥测记录得到的曲线变化,属于正常范围内的性能波动,并非故障现象,并由此验证该套雷达的综合性能指标符合鉴定要求。

3 结论

军事装备中通信、侦查、雷达、敌我识别等系统对频率转换速度和相位噪声的指标要求越来越高^[5]。频率捷变技术除了能提高雷达的抗干扰能力,还能改善雷达的性能,如增大作用距离,提高跟踪精度、目标分辨力,增强抑制杂波能力等。在以考核武器性能为主要职责的鉴定部门,装设备的细微异常或看似异常的现象,都应引起足够重视,因为这往往关系到一系列产品的安全隐患及其交付使用后的性能稳定。本文立足于某型号FAR的多次测试数据曲线对比,对本振功率曲线不一致现象进行了深入细致的思考。通过对一些细节问题的深入分析研究,解决了一个长期困扰鉴定部门的基础性技术问题。

参考文献:

- [1] 任松. 航天测量事后数据处理多尺度融合算法[J]. 信息与电子工程, 2007,5(5):325-328. (REN Song. Multi-scale Fusion Algorithm for Data Processing after Aerospace Measure Mission[J]. Information and Electronic Engineering, 2007,5(5): 325-328.)
- [2] 刘蕴才. 遥测遥控系统[M]. 北京:国防工业出版社, 1999. (LIU Yuncai. Telemetry and Remote control Systems[M]. Beijing:National Defense Industrial Press, 1999.)
- [3] 唐国富. 飞航导弹导引头(上)[M]. 北京:宇航出版社, 2005. (TANG Guofu. Seeker of winged missiles[M]. Beijing:Aerospace Press, 2005.)
- [4] 潘晓艳. L波段细步进捷变频频率综合器设计[J]. 信息与电子工程, 2010,8(1):46-48. (PAN Xiaoyan. Design of a small step and frequency agility synthesizer in L band. Information and Electronic Engineering, 2010,2(8):46-48.)
- [5] 温瑞珩,叶玮. 捷变频雷达自动化测试及关键技术[J]. 计算机测量与控制, 2009,17(3):515-517. (WEN Ruiheng, YE Wei. Automatic Test for Agility Radar and its key Technology[J]. Computer Measurement & Control, 2009,17(3):515-517.)

作者简介:



周怀平(1983-),男,江西省九江市人,在读硕士研究生,主要研究方向为导弹测试与控制、先进飞行器智能决策.email:hippyberry20@163.com.

高光磊(1984-),男,河北省保定市人,工程师,主要从事航空航天总体测控工作。

顾炳永(1963-),男,山东省威海市人,高级工程师,主要研究方向为导弹总体控制。