

doi: 10.7690/bgzdh.2016.09.021

雷达发射机在线监测系统设计

胡文华, 薛东方, 朱晓秀

(军械工程学院电子与光学工程系, 石家庄 050003)

摘要: 针对由于雷达元器件、部组件和关重件老化以及环境因素影响等, 造成雷达探测距离下降, 严重时会导致雷达工作异常, 甚至发射机损坏的问题, 设计了雷达装备发射机在线监测系统。该系统采用嵌入式 Linux 操作系统, 以 PC/104 总线 CPU 模块为核心, 由在线监测专用虚拟仪器模块和监测软件组成。结果表明: 该监测系统能完成雷达发射机功率和天馈线系统驻波系数的在线监测, 在监测精度、监测方法和可靠性等方面都优于以前的设备。目前该监测系统已成功应用于某型雷达整机性能监测系统中, 并且取得了良好的效果。

关键词: 发射机功率; 驻波系数; 状态监测; 嵌入式系统

中图分类号: TP274 **文献标志码:** A

Design for On-line Monitoring System of Radar Transmitter

Hu Wenhua, Xue Dongfang, Zhu Xiaoxiu

(Department of Electronic & Optical Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Aimed at the problem of the loss of radar detection range and even the damage of transmitter due to the reasons such as environmental factors, aging effects including electronic components, critical parts and so on, the radar transmitter on-line monitoring system is designed. The monitoring system based on embedded Linux operating system is composed of virtual-instrument module and monitoring software, and the core of monitoring system is CPU module based on PC/104 bus. A series of researches show that this system can complete the on-line monitoring including radar equipment transmitter and standing wave coefficient of radar antenna feeder system. It also has many excellence superior to former instrument, including monitoring precision, monitoring method, reliability and so on. It has been successfully used for one type integrated performance monitoring system and proves fine through its outcome.

Keywords: transmitter power; standing wave coefficient; condition monitoring; embedded systems

0 引言

雷达发射机输出的微波功率以及天线馈线系统的驻波特性对雷达的作战性能有很大的影响。由雷达方程可知, 雷达的作用距离是与发射机输出的脉冲功率 P_t 的四次方根成正比, 可见发射机输出的功率大小, 将直接影响雷达的威力范围^[1]; 雷达馈线系统用来将发射机产生的高频电磁能量传输至天线。雷达馈线系统的驻波系数(也称驻波比)非常重要, 当驻波比太高时说明馈线系统与天线不匹配, 发射机的大功率信号不能完全通过馈线系统传输到天线, 部分发射能量会反射回来, 严重时会导致打火甚至损坏馈线或发射机^[2-3]。

雷达经过长期使用, 由于元器件、部组件和关重件等老化以及环境因素的影响, 某些电气参数会产生改变, 导致发射机输出功率下降以及天馈线的驻波比变高, 造成雷达发现及跟踪目标的距离下降, 严重时会导致雷达不能工作甚至发射机损坏; 因此, 设计相应的在线监测系统, 对上述参数进行有效的

在线监测及异常情况下的控制保护。

1 相关参数监测原理

1.1 发射机功率监测原理

发射机功率具有频率高、功率大等特点, 直接测量一般采用大功率微波功率计, 在外场测量微波大功率或进行功率监测时, 一般采用功率变换法^[4]。用功率变换法测量发射机功率时, 设定向耦合器的过度衰减量(耦合度)为 C , dB, 终端为匹配负载, 发射机平均功率为 P_{av} , 小功率计测量值为 P_c , 根据耦合度定义:

$$C = 10 \lg \frac{P_{av}}{P_c}。$$

其中计算可得:

$$P_{av} = 10^{\frac{C}{10}} P_c。 \quad (1)$$

根据式(1)测得的小功率 P_c 就可以算出雷达发射机的输出功率。

收稿日期: 2016-05-30; 修回日期: 2016-07-01

作者简介: 胡文华(1970—), 男, 湖北人, 博士, 副教授, 从事武器系统性能检测与故障诊断研究。

1.2 驻波系数监测原理

馈线系统由许多不同的馈线元件和连接馈线所组成。馈线的形式很多，雷达中常用的有平行传输线、同轴线、波导和带状线等。雷达通常根据它的工作波段和传输线的结构特点来选用馈线。下面以波导传输线为例来分析^[1,4]。

1) 驻波的定义。

当传输线终端为一阻抗 Z_L ，正的传输波与负的传输波同时存在，这 2 种波的相互作用形成驻波。波的包络是固定不变的，所以称之为“驻”波。包络的最大值与最小值之间的比，称为驻波比 (standing wave ratio, SWR) 或驻波系数。包络出现最大值的点是入射波与反射波相加的点；包络出现最小值的点是入射波与反射波相减的点。驻波系数一般用电压驻波比 (voltage standing wave ratio, VSWR) 来表示。

2) 驻波的测量原理。

图 1 为驻波测量线结构^[4]。

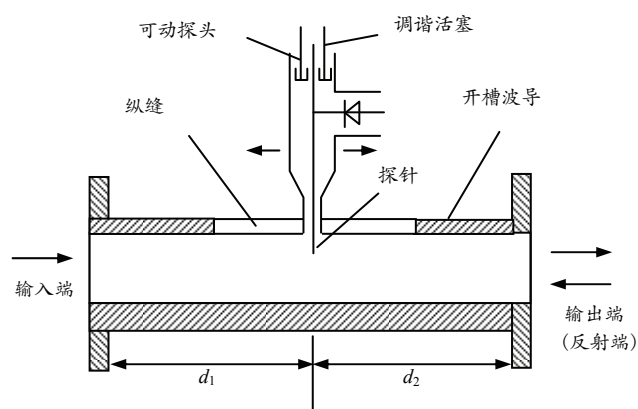


图 1 驻波测量线结构

用 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 表示入射波和反射波，则：

$$S_1(t) = A_1 e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d_1}; \quad (2)$$

$$S_2(t) = A_2 e^{j\frac{2\pi}{\lambda}(d_1+2d_2)} = A_2 e^{j\frac{2\pi}{\lambda}(d_1+l)}. \quad (3)$$

上式中： A_1 为入射波的幅度； A_2 为反射波的幅度； λ 为波长； d_1 为输入端与探针的距离； d_2 为反射端与探针的距离； l 为入射波与反射波之间的路程差。使两路波相加并取其包络，驻波的大小可表示为：

$$|S(t)| = |S_1(t) + S_2(t)| = \left| A_1 e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d_1} + A_2 e^{j\frac{2\pi}{\lambda}(d_1+l)} \right| = \left| A_1 e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d_1} \left(1 + \frac{A_2}{A_1} e^{j\frac{2\pi}{\lambda}l} \right) \right| = A_1 \sqrt{1 + \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 + 2 \frac{A_2}{A_1} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}l\right)}. \quad (4)$$

从上式可以看出，SWR 的取值在最大 A_1+A_2 和最小 A_1-A_2 之间，根据式 (4) 可绘出 SWR 的简图，如图 2 所示。

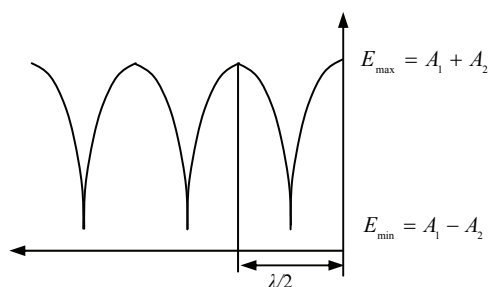


图 2 驻波比

在实际驻波系数监测中，不用定量地计算出馈电线系统的驻波系数，只要进行门限判断，当馈线系统的驻波系数超过一定值时，监测系统给出一个控制信号，使发射机停止工作，达到保护发射机和馈线系统的目的。

2 硬件设计

2.1 系统硬件组成

该系统可以在线监测雷达发射机功率、天馈线系统驻波系数监测等大功率、高频率微波信号，信号的提取采用定向耦合器、包络幅度检波等微波信号处理技术，信号的检测与比较采用数字化的处理方法。笔者采用嵌入式 Linux 操作系统，以 PC/104 总线 CPU 模块为核心，配以虚拟仪器卡及其相关监测硬件，构成一种新型的实时在线监测系统。该系统由嵌入式计算机、控制模块、虚拟仪器模块、功率及驻波监测系统、馈线及信号耦合系统 5 部分组成。图 3 为发射机功率及驻波系数在线监测仪硬件组成框图。

2.2 工作原理

1) 馈线及信号耦合系统。

监测雷达发射机功率时，对应被监测雷达发射机频段和结构，选用或开发专用定向耦合器，送至高功率环流器。发射机的绝大部分能量经定向耦合器的主通道送至波导开关，很小一部分能量送到功率及驻波监测系统，供功率监测用。送至波导开关的发射机能量，正常情况下经方位旋转关节、俯仰旋转关节送雷达天线辐射出去。当雷达需要“静默”时，波导开关将发射机的电磁能量送至高功率吸收负载 1 变成热能，起到隐蔽电磁信号的作用。

2) 功率及驻波监测系统。

① 功率监测信号的提取。经馈线及信号耦合系统中定向耦合器输出的微弱微波信号，送到检波器 1 中，提取出射频包络信号，送到虚拟仪器模块。

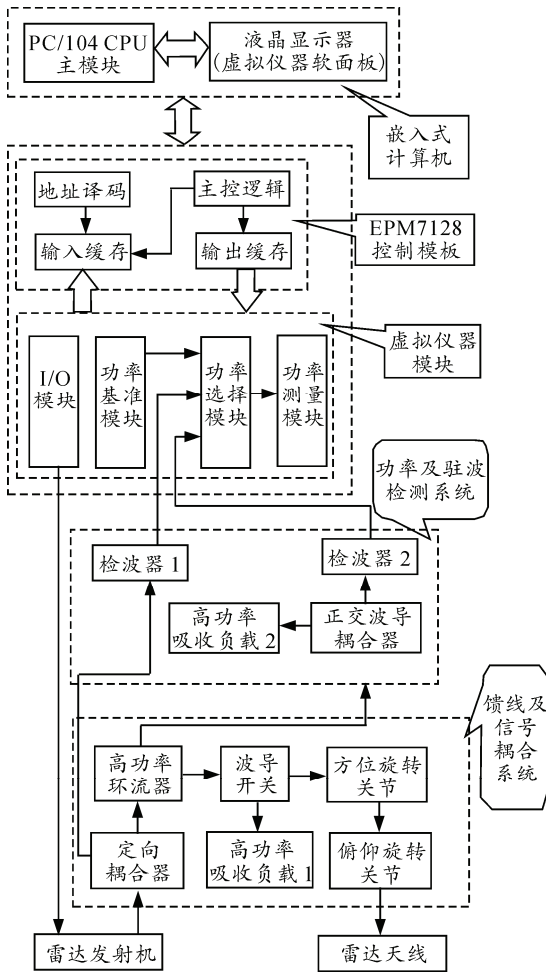


图 3 线监测仪硬件组成

② 如果馈线系统存在反射功率，反射功率就经高功率环流器送到功率及驻波监测系统中的正交波导耦合器，大部分能量送高功率吸收负载 2 吸收，小部分能量耦合到检波器 2，提取出射频包络信号，送到虚拟仪器模块。

3) 虚拟仪器模块。

虚拟仪器模块由 I/O 模块、功率基准模块、功率选择模块和功率测量模块组成。功率基准模块产生 1 mW 功率基准信号，用于监测系统的自检和定标。功率基准信号、发射监测信号、驻波监测信号经功率选择模块（系统根据不同需求软件控制选择），被功率测量模块录取。在嵌入式计算机系统内的测量放大器模块内有门限电路，驻波系数太大时，计算机通过 I/O 模块输出相应的控制信号到发射机

控制电路，使发射机相关电路停止工作，从而起到保护发射机及馈线系统的作用。

4) EPM7128 控制模块。

控制模块由 CPLD 可编程逻辑器件 EPM7128 及相关器件组成，在其内部实现 PC 端口地址译码、数据输入缓存、输出缓存和主控逻辑等功能。

5) 嵌入式计算机。

嵌入式计算机由 PC/104 CPU 主模块及液晶显示器组成。PC/104 CPU 主模块用来控制管理整个系统，完成以下工作：① 虚拟仪器卡的地址选择与驱动；② 雷达功率信号、驻波信号、自检信号选择、录取与处理；③ 功率及驻波系数在线监测程序的自动引导。显示器用来显示相关监测结果。

3 软件设计

3.1 软件选择

软件系统采用嵌入式 Linux 操作系统，并在其上用 gtk+ 及一些辅助功能库开发用户应用程序。这个操作系统是带有 Tinyx 的 Linux，具有以下特点：由于源代码开放，系统可剪裁，因而其占用空间小；用户应用软件用的是 Linux 系统主流 GUI 之一的 gtk+ 开发包，用 C 语言实现了 C++ 所具有类库封装功能，能面向对象，又可移植；成本低，网上提供许多资源可供利用^[5-6]。

3.2 软件组成

监测系统软件组成如图 4 所示。

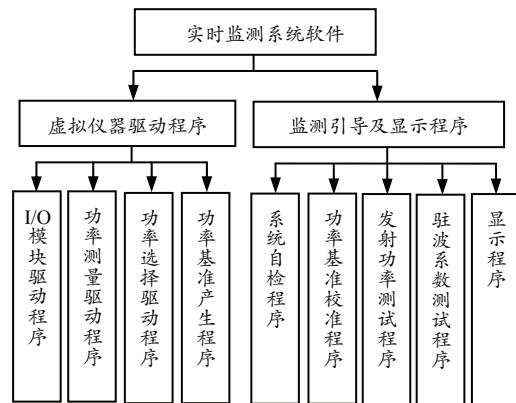


图 4 监测系统软件组成

监测系统软件分为虚拟仪器驱动程序、监测引导及显示程序 2 类。其中，虚拟仪器驱动程序由 I/O 模块驱动程序、功率测量驱动程序和功率选择驱动程序等组成，作用是在嵌入式计算机控制下，调用相应虚拟仪器卡，完成相关仪器功能；监测引导及显示程序由系统自检程序、功率校准程序、发射功

率测试程序和驻波系数测试程序组成：系统自检程序用于测试仪工作状态的自检，功率校准程序作用是用 1 mW 功率基准信号校准功率测量模块，发射功率测试与驻波系数测试程序用于测量发射机功率及馈线系统的驻波系数，显示程序用于自检、校准及监测结果的显示。

3.3 软件流程

雷达发射机在线监测系统依靠检测引导软件来完成。图 5 为其软件流程。

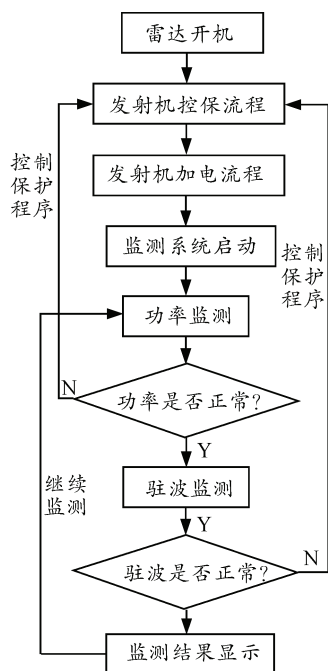


图 5 软件工作流程

雷达开机后，发射机就启动相应的控制保护流程：一方面使发射机严格按照“灯丝-低压-高压”的顺序加电工作；另一方面具有控制保护功能，确保在加电工作过程中出现异常情况时，能迅速切断发射机高达，达到保护发射机的目的。发射机工作正常后，就会启动实时状态监测系统，依次进行发射机功率、驻波系数的监测。这 2 个监测量只要有任何一个不正常，系统就会启动控制保护程序，切断发射机高压。

监测结果会在嵌入式计算机终端上显示出来，监测结果如图 6 所示，有相关性性能指标的标准值、

监测值、差值、当前状态(正常与不正常)及处理方法。相应的界面中会有处理方法的引导提示，比如发射机功率降低可能有高压未调整到额定值、调制脉冲不正常和磁控管性能下降等原因，排除方法有调整磁控管高压、检查调制脉冲的宽度与幅度及更换磁控管等。

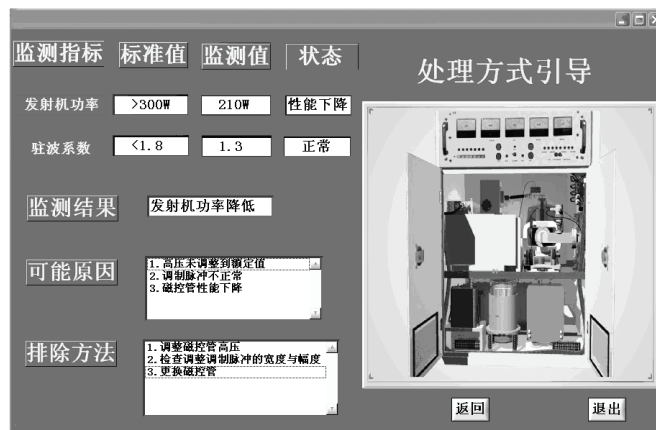


图 6 在线监测系统虚拟仪器面板

4 结论

笔者以嵌入式系统为平台，利用虚拟仪器技术研制的雷达装备发射机在线监测系统，将现代测试技术与计算机技术融为一体，实现了在线监测功能，优化了人机界面，保证了系统的高可靠性、实时性。目前，该监测系统已在某型雷达发射机整机性能监测系统中得到了应用，有效地解决了该雷达状态监测能力有限的问题，效果良好。

参考文献：

- [1] 丁鹭飞, 耿富录, 陈建春. 雷达原理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 219-221.
- [2] 肖小锋, 蔡金燕, 梁玉英. 雷达驻波比测量方法研究[J]. 火箭与制导学报, 2006, 26(1): 286-288.
- [3] 李长云. 波导传输线承受功率与驻波系数的关系[J]. 现代电子技术, 1994(4): 46-49.
- [4] 马彦恒, 王志云, 胡文华, 等. 雷达性能测试技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 96-106.
- [5] 朱汉群, 苏厚勤, 吴丰科. Linux GUI 开发工具 Gtk+ 技术应用研究[J]. 计算机应用与软件, 2009, 26(1): 137-140.
- [6] 阮晓芬, 罗贤全. 嵌入式 Linux 系统的汉化[J]. 兵工自动化, 2006, 25(1): 24.