

Radant 透镜相控阵雷达发射通道的设计

吉 胜

(中国电子科技集团公司第 20 研究所 雷达部, 陕西 西安 710068)

摘要 介绍了一种基于 Radant 透镜概念的相控阵雷达, 论述了 Radant 透镜相控阵雷达发射通道的设计, 以及其中发射通道的组成、频合分系统的设计思想、功放组件的输出电平的计算、大功率 T/R 组件的组成及天线阵面的耗散功率的计算。Radant 透镜相控阵雷达发射通道经长时间的整机工作, 验证了其技术的先进性、可靠性、以其成本优势, 将在防空、预警等领域发挥重要作用, 并具有广泛的应用前景。

关键词 Radant 透镜; 相控阵雷达; T/R 组件; 耗散功率

中图分类号 TN958.92 文献标识码 A 文章编号 1007-7820(2013)02-036-02

A Design of Radant Lens Phased Array Radar Transmission Channel

Ji Sheng

(Radar Ministry, 20th Research Institute of CETC, Xi'an 710068, China)

Abstract This paper introduces a phased array radar based on the concept of Radant lens with emphasis on the design of transmission channel, including its and the specific design, which introduces the transmission channel of the concrete, the design concept of frequency synthesis system, calculation of the output power level of the power amplifier module, the composition of high power T/R modules and the calculation of the antenna array dissipation power. Radant lens phased array radar with its reliability and cost advantage will play an important role in air defense and surveillance.

Keywords Radant lens; phased array radar; T/R modules; dissipation power

伴随着相控阵雷达技术的发展, 如何降低相控阵雷达的成本是业界的一个研究方向。20 世纪 70 年代, Park 和 Rao 等人提出了 Radant 透镜的概念, 即通过一组移相器完成一维波束扫描, 再用另一组移相器对此波束在另一个方向上进行扫描, 这样通过两组移相器实现了对波束的两维扫描。如果完成行扫描的移相器的数量为 M , 列扫描的移相器的数量为 N , 则可实现相控阵天线移相器的数量由 $M \times N$ 减少到 $M + N$ ^[1]。法国阵风战斗机的机载火控雷达和美国炮位侦查雷达 AN/TPQ-36 就采用了 Radant 透镜技术^[2]。设计的低成本相控阵雷达采用一个后置的一维相扫天线和一个 Radant 透镜天线级联组成, 一维相扫天线完成方位面的相控扫描, Radant 透镜天线完成俯仰面的相控扫描, 通过这两种天线的级联实现了相控阵雷达的两维扫描^[3], 完成了三坐标雷达功能, 由于只使用了少量的 T/R 组件, 大幅地降低了整机成本。

1 Radant 透镜相控阵雷达发射通道设计

1.1 发射通道的组成

发射通道由频合分系统、功放组件、功分网络、大功率 T/R 组件组成, 其中功分网络由 1 个 1 分 2 功分器和 2 个 1 分 32 功分器组成; 大功率 T/R 组件在天线上分成上下两排放置, 以便形成俯仰差波束。组成框图如图 1 所示。

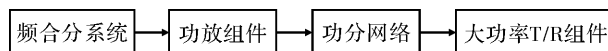


图 1 发射通道的组成

1.2 频合分系统

频率合成源的种类大体分为倍频式数字锁相合成方式、混频式数字锁相合成方式、多点晶振点频锁相频率合成器方式、直接式频率合成器、DDS 附加 PLL 合成方式等。根据对这几种频率合成源的性能比较, 采用直接式频率合成器的技术方案, 它具有相位噪声低、杂散电平小、跳频时间快等优点^[4]。具体框图如图 2 所示。

频合分系统由中频组件、频率合成组件、DDS 时钟组件、频控组件以及上变频组件组成, 主要产生数 10 个频点的发射信号、数 10 个频点的接收本振信号、相

收稿日期: 2012-09-19

作者简介: 吉胜(1968—), 男, 高级工程师。研究方向: 相控阵雷达收发分系统。E-mail: jisheng1@tom.com

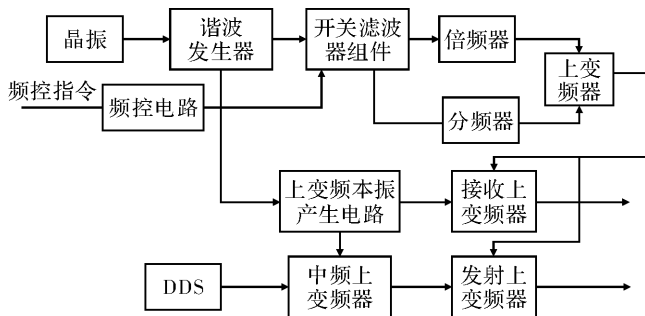


图2 直接式频率合成器

参信号、雷达整机的时钟信号,这些信号完全相参。其中 DDS 选用 AD9858,产生 2 种带宽、十几种时宽的线性调频信号及点频脉冲信号。最终本频合分系统的相位噪声 $\mathcal{L} \leq -110$ dBc/Hz @ 1 kHz,杂散电平 ≤ -60 dBc,调频时间 ≤ 300 ns^[5]。

1.3 功放组件

功放组件用于对发射信号进行放大,并通过功分网络将发射信号送入大功率 T/R 组件的发射输入端口。

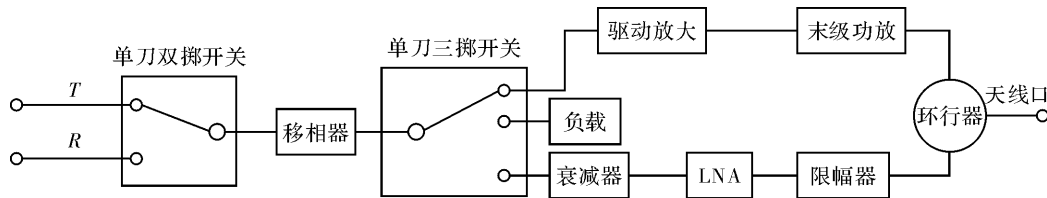


图3 大功率 T/R 组件原理框图

组件由发射和接收两个通道组成,都要求相位一致性,这是设计的难点;接收通道包括环行器、隔离器、限幅器、低噪声放大器、微波开关、移相器、衰减器等电路,发射通道包括微波开关、移相器、隔离器、前级推动、功率放大器等电路;组件的各个单元电路具有较好的相位一致性,才能保证级联时组件整体的相位一致性指标。为保证电路稳定可靠,天线口到接收通道输入端口用双结环行器连接,其后是大功率限幅器;大功率限幅器的插入损耗相对较大,会对噪声系数有恶化,因此对于低噪声的噪声系数和输入驻波也提出了更高的要求。

整个天线阵面大功率 T/R 组件的平均耗散功率的计算

$$P_D = (P_o/\eta - P_o) \times D \times N \quad (2)$$

式中, P_D 为整个天线阵面大功率 T/R 组件的平均耗散功率; P_o 为单只大功率 T/R 组件的峰值功率; η 为单只大功率 T/R 组件的发射效率; D 为工作比; N 为整个天线阵面大功率 T/R 组件的数量。

通过计算,整个天线阵面的平均耗散功率约 3 kW,其中单只大功率 T/R 组件的平均耗散功率近 50 W,大功率 T/R 组件主要发热点在末级功放处,在其底部安装热管,将热量从 T/R 组件导出。在整个天

发射信号送入单只大功率 T/R 组件发射端口的功率为 5 dBm,1 分 32 功分器的插入损耗 < 2 dB,1 分 2 功分器的插入损耗 < 0.5 dB,电缆馈线的损耗 < 1.5 dB,那么电缆馈线的损耗 + 功分器的插损 < 4 dB^[6]。

根据

$$P_{out} = 10\lg N + L_{oss} + P_{in} \quad (1)$$

这里, P_{out} 为功放组件的输出功率电平; N 为大功率 T/R 组件的数量; L_{oss} 为整个功分网络的插入损耗; P_{in} 为大功率 T/R 组件发射输入端口的功率。功放的输出功率为 $10\lg 64 + 4 + 5 = 27$ dBm。

根据以上计算,设计了一个 1 W (30 dBm) 的功放组件。

1.4 大功率 T/R 组件

T/R 组件是相控阵雷达的重要部件,它的性能直接影响相控阵天线的指标。本大功率 T/R 组件由环行器、发射固态功率放大器、限幅器、接收低噪声放大器、数控衰减器、开关移相器组件组成。原理框图如图 3 所示。

线阵面上共安装了两条风道,将整个 T/R 组件的热量导出。经过高温环境下的长时间工作,较好地解决了大功率 T/R 组件的散热问题。

2 结束语

Radant 透镜相控阵雷达发射通道经过了长时间的整机工作,充分验证了其技术先进、性能可靠,满足了整机要求。Radant 透镜雷达以其较低的成本具有较强的竞争优势,在防空、预警等领域发挥重要作用,具有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 袁慧馨,温浩,王东升,等. 低成本相控阵技术在机载雷达中的应用[J]. 现代雷达,2005(8):1-3.
- [2] 张光义,赵玉洁. 相控阵雷达技术[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [3] 郑朝晖,许铁砚. Radant 透镜体制低成本相控阵雷达技术的研究[J]. 火控雷达技术,2008(6):6-9.
- [4] 吉胜. 几种形式的微波频率源[J]. 无线电通信技术,2002(5):24-25.
- [5] 黄玉仙,李铁成,许国宏. 基于 DDS 的雷达校准信号源设计与实现[J]. 电子设计工程,2011(8):120-123.
- [6] 谷加臣,张宏伟,齐利,等. 基于云重心理论的相控阵雷达系统效能评估[J]. 电子科技,2011,24(3):73-75.