

一种6-18GHz超宽带收发同时TR组件

王 轶 季 帅

(西安导航技术研究所 陕西 西安 710068)

【摘要】本文主要阐述了现代复杂电磁环境下射频前端收发组件的发展趋势,在此基础上提出了应用于复杂电磁环境中的多功能超宽带收发同时TR组件设计,并针对6-18GHz收发同时TR组件的链路、电磁兼容性、射频对消进行相关分析设计。

【关键词】6-18GHz;收发同时;TR组件

引言

随着电子技术的不断发展,微波领域有了长足的技术进步,其应用范围覆盖了雷达系统、探测系统以及移动通信系统等诸多领域。而随着无线通信技术应用市场的蓬勃发展,频谱资源消耗、电磁干扰等问题都亟待技术解决。在新时代下复杂的电磁环境要求射频前端收发组件朝着高性能、低功耗以及小型化的方向发展。

目前6-18GHz的同时收发组件尚未见公开报道,美国的AMRFC系统中的6-18GHz射频前端采用的是收发分置系统,以此来回避同时收发的工作方式下所存在的发射泄露问题,其6-18GHz组件分为两种:6-18GHz接收组件和6-18GHz发射组件,此方式需要接收和发射两个阵面来实现雷达功能。

现阶段国内宽带射频前端系统主要通过不同频段射频前端综合组装的方式实现6-18GHz的全频段覆盖,现役装备尚无法覆盖6-18GHz;射频前端由于发射泄露的问题,尚不能实现同时收发的工作方式,此外,复杂电磁环境中,宽带收发系统无法处理回波信号中的复杂电磁信号,亟需开发出新的技术以解决上述问题。

探索和开展多功能超宽带收发同时TR组件的研究,对于提高和改进我军电子装备一体化水平、保障现代战场实时信息处理、传输和通信能力,提高我军在复杂、恶劣的战场对抗条件下的整体作战能力,强化作战指挥系统、武器系统在目标探测、指挥决策、武器控制和信息对抗中的信息优势,以及为我军夺取信息化战争胜利提供技术支撑等方面,都将具有重要的现实意义和军事参考价值。

一、TR组件原理

在复杂电磁环境和恶劣的电磁对抗条件下,宽带接收系统所需要面临的主要电磁干扰包括:发射泄露信号、近端遮挡的大功率反射信号及遍布在空间中的各种电磁干扰信号,故组件需要通过频选、对消等多种手段对回波信号进行处理,从而得到可应用于复杂电磁环境下的超宽带收发同时TR组件。本文所设计的超宽带收发同时TR组件实现的主要功能包括:满足多功能应用背景的6-18GHz超宽带同时收发、针对发射泄露及近端大功率回波信号的射频对消、以及针对应用环境中的复杂电磁干扰信号的中频对消。

应用于6-18GHz超宽带收发同时TR组件由宽带对消收发通道和宽带变频对消通道组成,如图1所示:

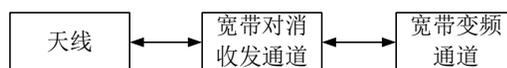


图1 超宽带收发同时TR组件原理图

其中,宽带对消收发通道如图2所示,主要包含:环形隔离器、发射路的耦合器(作用在于提取发射的样本信号)、接收路的两路耦合器(作用分别在于提取回波信号中的发射泄露样本信号和利用信号合成作用对消回波信号中的发射泄露信号)、接收路的限幅器和低噪放、发射路的驱放和末级功放、公共路的多功能芯片(包含双向放大、数控移相、数控衰减功能,其中,数控移相可完成 180° 、 90° 、 45° 、 22.5° 、 11.25° 、 6.125° 的移相过程,移相精度须保证在 $\pm 5^\circ$ 内;数控衰减由6位数字信号控制,可完成0.5—31.5dB的衰

减)、对消电路(包含功分器、90°电桥、I/Q混频器、I/Q调制器、矢量合成器、直流放大、低通滤波);

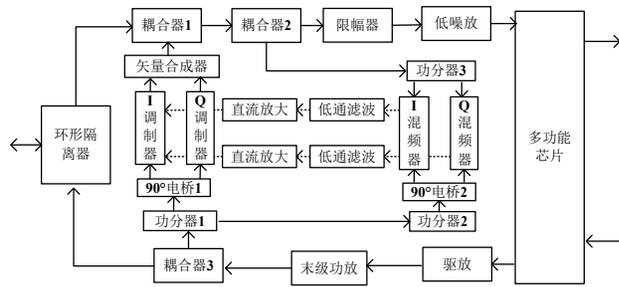


图2 宽带对消收发通道链路图

如图3所示的宽带变频对消通道包含上变频通道和下变频通道, 组成为: 两个6-18GHz的滤波器组(频带分配为6-9、9-11、11-14、14-16、16-18GHz)、混频器、放大器、5或6GHz的开关滤波组、中频滤波器、单刀双掷开关、耦合器、检波器、AD/DA变换器、FPGA、数控移相衰减器。

组件发射态下: 中频信号由中频放大器放大后经中心频率720MHz、带宽400MHz的中频滤波器滤波处理后, 与二本振信号混频, 产生中心频率为5或6GHz的高中频信号, 上述5或6GHz的高中频信号分别对应于4280MHz和5280MHz的二本振信号, 主要为避免二本振信号的二次、三次谐波杂散落在混频产生信号的带内, 进而影响信号质量; 5或6GHz的高中频信号经滤波器组(滤波器组由中心频率分别为5、6GHz的声表滤波器和两个单刀双掷开关组成)滤波处理后由放大器放大后与经放大的一本振信号(11-23GHz)混频处理, 混频产生的发射信号经由滤波器组级联滤波处理后, 送入宽带对消收发通道的发射通道, 小功

率发射信号经多功能芯片进行预放大、数控移相、衰减处理后, 再由后级的驱动、末级放大产生大功率的发射信号经环形器、天线发射至空间中。

组件接收态下: 回波信号由天线、环形器接收至组件的接收通道。为对消掉接收通道中的发射泄露信号, 回波信号经耦合, 部分能量信号等功分为两路分别与发射路经耦合并功分的相位相差90°的两路信号进行混频作用, 产生I、Q两路控制信号, 这两路控制信号经低通滤波、直流放大, 分别作用于I、Q调制器, I、Q调制器利用上述控制信号对输入的发射耦合信号进行处理, 产生的两路调制信号经矢量合成器合成为系统所需的对消信号, 经耦合作用与回波信号进行合成实现对消过程; 完成对消的回波信号经限幅器的限幅作用、低噪放的低噪声放大作用后, 进入多功能芯片实现数控移相、衰减处理; 此阶段的信号经滤波器组级联滤波处理, 将复杂电磁环境中的其他频率干扰信号加以抑制后, 与经放大的一本振信号(11-23GHz)下变频产生中心频率为5或6GHz的高中频信号, 该信号经放大后, 与经放大的二本振信号(4280或5280MHz)进行二次下变频处理, 产生中心频率720MHz、带宽400MHz的中频信号, 放大后经耦合器, 将10%功率的中频信号传输至检波器、A/D变换器提取信号特征, 经FPGA将上述信号特征中的电磁干扰信号特征转变为数字信号传输至D/A转换器, 形成720MHz的模拟信号, 经数控移相衰减器产生与接收信号中电磁干扰信号等幅反相的对消信号, 经耦合器与前端耦合器的输出信号进行对消处理, 对消数据库中的典型电磁干扰特征将对FPGA的输入参考信号进行修正和优化, 以起

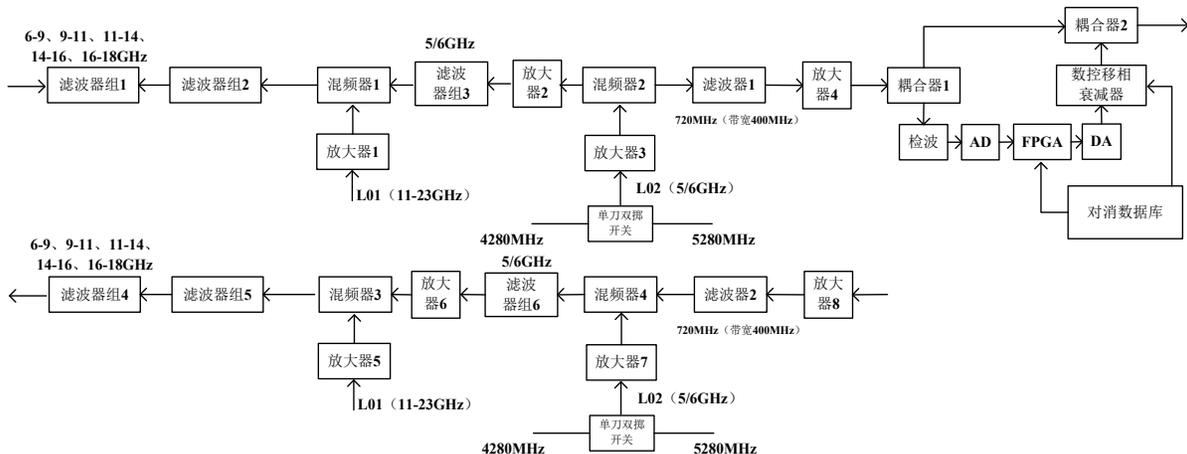


图3 宽带变频对消通道链路图

到对消信号的自适应处理。

为解决连续波收发同时工作时的发射泄露问题,采取射频对消的工作方式,在收发通道中,提取发射信号的信号特征,利用I/Q调制器和矢量合成器合成与发射泄露信号(近端大功率回波信号)等幅反相的对消信号用于对消接收通道中的发射泄露及近端大功率回波信号,从而实现收发同时工作的功能,为多功能雷达的同时多功能工作打下基础。

宽带变频对消通道采用二次变频,其中一本振采用11-23GHz的高本振,避免一本振的多次谐波落在通道频带范围内;二次本振采用4280MHz与5280MHz两个频率,分别对应于5GHz和6GHz两个高中频,其益处在于避免二本振信号的二次、三次谐波杂散落在混频产生信号的带内,影响信号质量,对应的级联滤波组的频带范围分别为:6-9、11-14、16-18GHz和9-11、14-16GHz,所述的级联滤波组由两个开关滤波芯片级联而成,具有尺寸小、成本低的优势,但其带外抑制制度有限,采用两个开关滤波芯片级联可提高其带外抑制制度,保证信号质量;中频对消电路主要针对应用环境中的复杂电磁干扰信号,利用所提取的接收信号中电磁干扰信号特征及对消数据库中现有的干扰信号特征产生用于复杂电磁干扰信号对消的对消信号,以达到在复杂电磁环境中实现高效工作的目的。

二、电磁兼容性设计

(一) 接地性

良好的接地可以提高系统的抗干扰能力,引入较小电磁辐射。射频电路的传输阻抗为分布参数,应大面积接地,就近接地,接地线应尽量短,地板与壳体间保持接地性良好;对控制电路,采用集中接地,且尽量与射频低分开。

(二) 腔体设计

腔体设计时,充分利用波导的高通滤波效应,对于宽为 a 的矩形波导,可传输电磁波的临界波长为 $2a$,对应的临界频率为 $c/2a$ 。当频率接近该截止频率时,传输衰减急剧增大,故设计时腔体的宽度应远小于 $2a$,设计时腔体的截止频率一般取为工作频率的3-4倍;考虑装配及信号传输质量问题,腔体深度不宜过深,一般为微带板厚度的10倍以上,且小于其宽度。

(三) 收发转换时序的影响

TR组件一般采用分时工作的方式,但收发状态

切换时,收发开关隔离度较低,通道之间易形成回路,产生震荡,故实际设计时,将TR开关错开一定的时间,使一个通道完全关断后再打开另一个通道。

(四) TR发射脉冲前后沿抖动的影响

TR进入发射态时,脉冲在前后沿存在一定的抖动,影响信号频谱质量,增加了系统的杂散,实际设计时,通过控制电源来消除前后沿抖动对组件发射信号性能的影响:前沿,电源连接时间提前于射频信号;后延,电源断开时滞后于射频信号。

四、总结语

现代战争对载体平台的灵活机动性以及武器装备的综合化、数字化、小型化等提出了较高要求,新一代的阵列武器装备明确提出了基于高密度集成技术的跨代发展需求,本文所提出的应用于复杂环境中的超宽带多功能收发同时TR组件,可实现6-18GHz宽带工作,在射频与中频的对消处理可实现收发同时和复杂电磁环境中的正常工作,该研究对于提高和改进我军电子装备一体化水平、保障现代战场实时信息处理、传输和通信能力,提高我军在复杂、恶劣的战场对抗条件下的整体作战能力,具有重要的现实意义和军事参考价值。

参考文献:

- [1]Reinhold Ludwig, Pavel bretchko, RF circuit design: theory and application 2002.
- [2]M.Dieudonne,B.Adelseck,Advanced MMIC components for Ka-band communication systems,a survey,IEEE microwave systems conference,1995.
- [3]李涵秋.微波芯片及模块技术创新发展战略研究[J].电子机械工程,2001,(5):2-7.
- [4]高勇,王绍东.采用LTCC技术的X波段接收前端MCM设计[J].现代雷达,2008,30(5):106-108.
- [5]Vafa-Sedghi,Abdolali-Abdipour,Ahbas-Mohammadi,A flat conversion gain sub-harmonically pumped image rejection mixer in MM-Wave band. Microwave and Millimeter Wave Technology,2004. ICMMT 4th International Conference on, Proceedings 18-21 Aug.2004,312-315.
- [6]Cohn,S.B, Characteristic Impedance of Shielded Strip Transmission Line, IRE Trans.Microwave Theory Tech.,Vol. MTT-2,July 1954,pp.52-55.
- [7]Bahl,I.J.,and R.Garg, "Designer' s Guide to Stripline Circuits," Microwaves, Vol.17,Jan.1978,pp.90-96.