

基于超外差结构的 Ka 波段多信道接收机

刘文豹, 杨自强, 陈涛

(电子科技大学 电子工程学院, 四川 成都 611731)

摘要:提出一种结构简单,设计成本低的多信道接收机方案。基于该方案设计出一个 Ka 波段三信道的毫米波接收机。采用超外差结构和二次下变频技术,利用切换不同的第一本振实现同一通道对不同信道的信号接收。利用 ADS 软件对频谱规划进行仿真和优化,选择合适的本振和中频。研制出一个结构简单,性能优异的 Ka 波段多信道接收机,该接收机的主要指标为: 28.5 GHz±100 MHz、27.5 GHz±100 MHz、26.5 GHz±100 MHz,带内波段小于 3 dB,噪声系数小于 5,增益为 45 dB,30 dB 增益可控。

关键词:接收机;Ka 波段;超外差式;二次下变频;多信道

中图分类号:TN928;TN948.55 **文献标识码:**A

Ka-band Multichannel Receiver Based on Superheterodyne Structure

LIU Wenbao, YANG Ziqiang, CHEN Tao

(School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: A multi-channel receiver scheme with simple structure and low-cost design was presented in this paper. A Ka-band millimeter wave receiver with three channels was designed based on the scheme. The superheterodyne structure and secondary down-conversion technology were used for the receiver. The signal from different channel can be received in the same channel by switching different first local vibration. The spectrum planning was simulated and optimized by ADS software, and thus the appropriate local vibration and intermediate frequency can be chosen. A Ka-band multichannel receiver with simple structure and excellent performance was developed. The main specifications of the receiver were as follows: 28.5 GHz±100 MHz, 27.5 GHz±100 MHz, 26.5 GHz±100 MHz, ripple in band of less than 3 dB, noise coefficient of less than 5, gain of 45 dB and controlled 30 dB gain.

Key words: receiver; Ka-band; superheterodyne; secondary down-conversion; multi channel

0 引言

随着无线通信技术的快速发展与应用,通信频段的频谱资源越来越紧张。未来的无线通信频率越来越高。毫米波频段具有频带宽,波长短,抗干扰能力强,波束窄,容量大和保密性能好等特点。因此,毫米波波段的接收机在无线通信和雷达系统中有着广泛的应用^[1]。

1 超外差式接收机结构及其主要性能指标

“超外差”是指将射频输入信号与本地振荡器产生的信号相乘或差拍,由混频器后的中频滤波器选出射频信号与本振信号频率两者的和频或差频。典型的超外差式接收机结构图如图 1 所示。图中,I、Q 表示两路相互正交中频信号,便于后续信号处理;LNA 为低噪声放大器,BPF 为带通滤波器,AGC 为

自动增益控制模块,LPF 为低通滤波器。

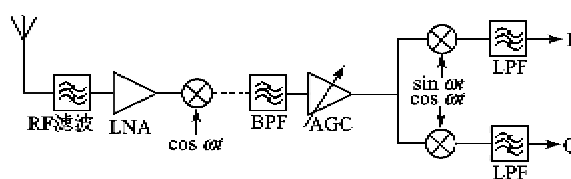


图 1 超外差式接收机的结构示意图

采用外差式接收的主要优点是中频滤波器易实现,选择性较好,增益可从中频级获得,降低了射频级实现高增益的难度。但超外差结构存在严重的镜像干扰问题,该结构的接收机必须有足够的镜像信号抑制率^[2]。

由于超外差式接收机通过适当地选择中频和滤波器可获得精确的选择性和灵敏度,因此被认为是最稳定、可靠的接收机拓扑结构。接收机的主要性能指标有:

收稿日期:2013-04-07

基金项目:中央高校基本科研业务费基金资助项目(ZYGY2010J026);自然科学基金青年科学基金资助项目(61006026)

作者简介:刘文豹(1986-),男,河北人,硕士生,主要从事微波/毫米波集成电路与系统研究。

1) 噪声系数(NF):定义为接收机系统的输入信噪比(S_i/N_i)和输出信噪比(S_o/N_o)的比值,即

$$NF = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} \quad (1)$$

一个级联系统的噪声系数表达式为

$$NF = NF_1 + \frac{NF_2 - 1}{G_1} + \frac{NF_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots \quad (2)$$

式中: NF_n 为第 n 级的噪声系数; G_n 为第 n 级的增益, $n = 1, 2, 3, \dots$ 。

2) 接收灵敏度描述接收机对小信号的反应能力。越高的灵敏度,则接收机能接收到的信号就越弱。定义为

$$S = -174 \text{ dBm} + NF + 10 \lg B + K_{sn} + K_m \quad (3)$$

式中: B 为中频带宽; K_{sn} 为检测信号所需的信噪比; K_m 为调制特性函数,由信号的调制类型决定。

3) 动态范围表征接收机正常工作时,允许输入的信号强度变化范围。允许输入的最小信号强度一般取最小可检测信号,允许输入的最大信号强度由正常工作时的 1 dB 压缩点来决定^[3]。

2 设计要求和设计方案

本设计的设计目标是设计一个 Ka 波段三通道的高性能接收机,具体指标如下:

接收信号:28.5 GHz±100 MHz;27.5 GHz±100 MHz;26.5 GHz±100 MHz。

中频信号:620 MHz±100 MHz。

接收增益:45 dB,30 dB 增益可调,1 dB 步进。

噪声系数:≤5。

杂散抑制:≤-60 dBc。

增益平坦度:4 dB(峰-峰)/200 MHz。

相位噪声:-80 dBc@1 kHz。

设计一个三通道接收机的一般结构如图2(a)所示,既采用 3 个独立的通道分别接收,采用两个开关协同工作选择不同的接收通道。通过 3 个通道的分别工作实现不同信道的接收,该结构实现思路较简单,但由于采用 3 个独立通道,因此实现的成本和调试难度较大,3 个通道之间的信号相互干扰是该结构另一个主要问题。

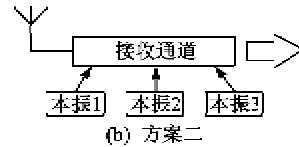
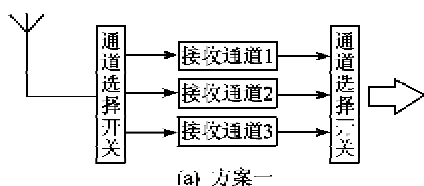


图 2 方案一、二的设计框图

本设计提出一个改进的设计方案,方案的原理框图如图 2(b)所示。该方案是 3 个信道采用同一个接收通道接收。在接收下变频时,采用不同的本振对接收频率进行频谱搬移。通过选择不同的本振实现信道间的切换。当选择本振 1 工作时实现对信道 1 信号的接收,选择本振 2 时可切换到对信道 2 信号的接收。该方案结构较简单,成本与调试难度较低,只有方案一的 1/3。但由于 3 个信道在同一接收链路上,3 个信道的镜频抑制和信道间的影响成为设计的难点。

通过综合考虑,本设计采用了改进的方案二。由于接收信号的频率较高,本设计采用二次下变频技术,以此避免镜像频率离本振频率很近的问题。将信道选择功能放在第一次下变频中,这样可以降低接收链路后半段的设计难度,具体的方案设计框图如图 3 所示。

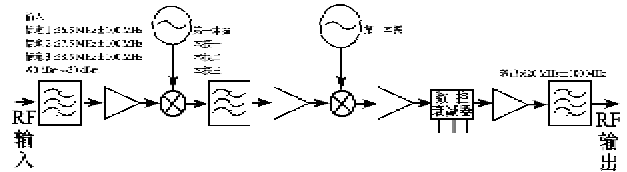


图 3 本设计的方案框图

接收通道将接收的信号先通过一个镜频抑制滤波器,将接收信号的镜频干扰抑制掉,解决该接收机结构的镜频干扰问题。然后通过低噪声放大再进行第一次混频,第一本振可通过控制信号进行切换,以此实现不同信道间的切换。3 个不同的信道射频信号通过第一次混频得到相同的第一中频信号。混频后的第一中频通过滤波、放大再进行第二次变频得到所要的第二中频信号,第二本振既可采用固定本振。第二中频信号通过数控衰减控制其增益后,通过放大链路和最后的中频选择滤波器滤波滤除其他干扰信号。为防止镜频干扰,第一中频的选择很重要。

本设计采用 ADS 软件对系统的频谱分布进行仿真,优化频谱规划,防止交调分量落到带内。仿真电路和仿真结果如图 4 所示。仿真时输入信号取到 3 次谐波,第一、二本振最高取到 5 次谐波,因信号

和本振的更高次谐波分量的幅度很小,它们引入的交调分量将不会影响到信号的输出。通过软件优化可得第一中频设置在 4 GHz,第二本振设置在 3.38 GHz,3 个信道的第一本振分别为 22.5 GHz、23.5 GHz、24.5 GHz。由图 4 可知,离输出中频信号最近的交调分量是 1.24 GHz,既输出中频信号的二次谐波,此杂散信号离中频信号较远,可通过中频选择滤波器很好的抑制^[4]。

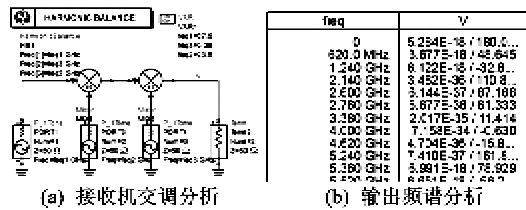


图 4 ADS 对接收机输出频谱的仿真和结果

3 具体电路设计和结构设计

3.1 关键器件的选型和电路形式的确定

1) 放大器。为满足噪声系数的要求,接收机链路前两级放大器选用了低噪声放大器 XL-1000 BD 与 HMC902LP3E。链路后端的放大链路为满足增益要求选用了 ERA-50。

2) 混频器的选择。第一级混频器选用了 HMC774,第二级混频器选用了 SIM-14+。

3) 其他器件和组件的选择。数控衰减器选用了 SKY12323-303LF。

4) 第一本振采用锁相环加二次倍频的方式得到,第一本振可通过外部控制信号改变频率输出。第二本振直接用锁相环电路产生。

5) 为减小设计尺寸,接收机中的滤波器多采用微带线和带状线滤波器。

3.2 指标预估

通过已选的器件可计算整个链路的增益为 70 dB,去除接头电缆损耗和微带传输损耗,最终增益仍大于设计要求的 45 dB,通过在链路加 π 型衰减器衰减多余的增益。 π 型衰减器放在链路后端,由于前几级的放大倍数很大, π 型衰减器的衰减对噪声系数的影响已很小。利用式(2)可计算出整个链路的噪声系数为 4.4 dB,输出 P-out 亦满足要求。输出信号的平坦度通过添加谐振电路调节^[5]。

3.3 电磁兼容考虑

为防止接收机中各个模块间相互干扰,各个单独模块采用独立腔体设计。然后在一个大腔体中进

行装配,防止外部信号的干扰。这样既更好地做到了电磁兼容,又方便了各个模块的调试。

4 实物和测试结果

使用安捷伦的 E4407 型频谱仪和 E8257D 信号源对接收机性能指标进行测试,本设计的实物和测试平台如图 5 所示。

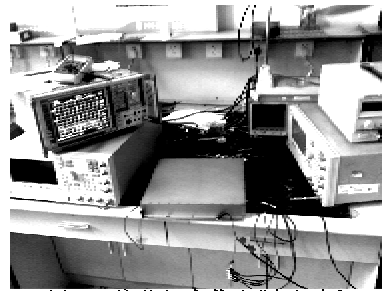


图 5 接收机实物和测试平台

图 6 为信道 1 的平坦度测试图,输入信号功率为一 80 dBm,由测试结果可知带内波动小于 3 dB。表 1 为其他指标测试结果,从结果看各个指标均满足设计要求。测出的噪声系数大于计算结果的主要原因是计算时未考虑接头和微带线的损耗,放大器的增益也使用了最大值。信道 2、3 各个测试结果与信道 1 相差不多,同样满足设计指标。



图 6 信道 1 的测试结果

表 1 信道 1 测试结果

通道增益/dB	增益平	噪声	杂散抑	相位噪声/
(620 MHz)	坦度/dB	系数	制/dBc	(dBc@1 kHz)
45.5	3.0	4.8	65.0	85.0

5 结束语

本设计采用超外差结构和二次变频技术设计 Ka 波段多信道毫米波接收机,采用切换第一本振的方式实现了一个通道接收 3 个不同信道的信号。本方案既优化了电路结构降低了设计成本,又避免了因系统复杂带来的不必要的问题。通过测试结果可知各个指标均满足设计要求,可验证该结构可作为多信道接收机的一个优化的方案。

(下转第 146 页)