

VSAT 射频功率放大控制链的研制

杨友民, 曾越胜

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:介绍了低成本 VSAT 的射频功率放大链的设计和研制情况。在研制中,根据应用环境以及技术指标的要求,选择了放大链路的放大级数以及各级的增益和功率输出值,同时,依据电路的空间大小以及低成本要求,选择了各级放大器的电路形式、采用器件和基片材料。并根据大系统的要求对该放大链提供了功率检测控制点和功率控制开关。设计和研制结果表明该电路在 5 925 MHz ~ 6 425 MHz 范围内增益为 67 dB、通道起伏小于 2 dB,输出功率为 5 W,开关比为 30 dB,基本满足系统指标要求。

关键词:VSAT; LNA; SSPA; LANGE 桥; ALC

中图分类号:TN015 **文献标识码:**A **文章编号:**1009 - 3516(2004)02 - 0069 - 03

VSAT(Very Small Aperture Terminal)是利用卫星进行单向或双向通信的小型卫星终端。VSAT 作为无线通信的一个重要的方式,在 120 多个国家构建了超过 50 万个终端。目前,推动 VSAT 发展的相关技术包括:卫星通信容量的扩大、卫星通信数字化程度的提高、调制解调以及编译码方式的改变、功放线性化和功率控制等。VSAT 射频功率放大控制链居于射频变频器之后、上行发射天线之前,完成信号的低噪声放大、中功率放大和功率放大,使信号达到卫星通信上行需要的功率值,同时,对电路的工作状态实施适时监测和控制,使整个 VSAT 的工作状态受计算机集中统一控制。

1 放大链的系统设计

总体指标要求:信号输入电平为 -30 dBm,输出电平为 +37 dBm,在 5 925 MHz ~ 6 425 MHz 频率范围内增益为 67 dB、增益通道平坦度小于 ± 1 dB,输出功率为 5 W,开关比为 40 dB。根据系统要求该电路必须工作于多级放大器级联的状态才能达到要求的噪声和增益值,下面给出系统级联的总噪声和总增益公式。

$$G_t = G_1 G_2 G_3 \cdots G_n \quad (1)$$

$$F_t = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3} + \cdots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 G_3 \cdots G_n} \quad (2)$$

其中 G_t 是级联放大链路总增益, G_n 是第 n 级放大器增益。 F_t 是级联放大链路总噪声, F_n 是第 n 级放大器噪声。

根据卫星上行链路的指标分配,输入信号为 -30 dBm,输出电平为 5 W,考虑到末级 SSPA 检测点要求的电压,部分功率用于检波,所以选用 SSPA 管的输出功率必须大于 5 W,故选取 8 W 的功率管,其增益为 8.9 dB,结合输出线性要求对末级和末前级 SSPA 管降额使用,选取 8 W 和 4 W 的功放管。根据保证电路良好线性和适当的增益余量的要求,整个电路选用 7 级放大,前 2 级低噪声放大器增益为大于 18 dB。后 3 级放大器每级 11 dB,即可保证系统的总增益和噪声特性。

开关电路置于射频信号的输入端,采用 LANGE 电桥合成的双平衡式开关电路,一方面可以满足开关比的基本要求,另一方面可以避免由于输入端和输出端驻波不好影响开关特性。

收稿日期:2003 - 11 - 05

基金项目:军队科研基金资助项目(KJ01713)

作者简介:杨友民(1962 -),男,陕西白水人,讲师,主要从事微波通信、卫星通信研究。

前两级放大器设计为低噪声放大器,后 3 级设计为中功率放大器用来推动最后两级 SSPA,使系统的噪声和增益值得以保障。

在末级 SSPA 输出端设置功率采样点,通过采样和检波反馈至计算机控制端,由计算机通过比较运算产生输出控制信号用来控制信号输入端开关的工作。一方面可以保护功放,另一方面可以控制功放电路的工作状态。

在系统设计过程中,考虑到放大器级联效应,级间级联无隔离器的放大器必须在放大器的设计中对其驻波特性进行优化设计,在本电路的设计过程中,考虑到成本,只在 SSPA 末级输出端引入隔离器,在级联的一些关键部位采用微带结构消除不同放大器放大级之间的级联效应的影响^[1],使得系统电路性能良好。

对于射频链路的供电采用了集中统一供电的方式。外围电压值为 +10 V 和 -5 V,对于小信号放大器采用了统一的供电电路形式提供了 V_{gs} 和 V_{ds} 的电压值。对于 SSPA 采用了集成运算放大器实现适当的偏置电压值,为功率放大器提供偏压。同时设置功放开关状态控制点。其组成如图 1 所示。

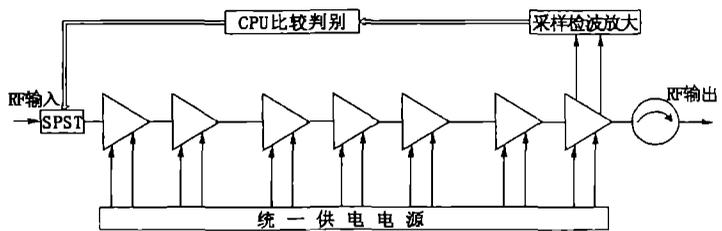


图 1 VSAT 射频功率放大控制链原理图

2 电路的仿真与设计

2.1 SPST 开关电路的设计

电路选用了 PIN 管,采用两只二极管串-并联混合式电路形式如图 2 所示,输入信号经过 LANGE 桥将信号加到接在 LANGE 桥两个输出臂的两只 PIN 管的正极上,PIN 管的负极接另一个 LANGE 桥。即:信号通过 LANGE 桥分为两路分别加到配对良好 PIN 管上,再经过另一个 LANGE 将信号合成为一路作为 LANGE 的输出信号。在二极管的正极提供偏置回路提供直流通路射频开路,两只 PIN 管的通断受计算机控制输出的偏置回路电压控制。其隔离和插入损耗分别由式(3)和式(4)给出^[2]。

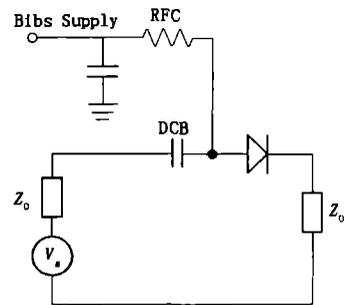


图 2 SPST 串联等效图

$$IL = 20 \log_{10} (1 + R_s / 2Z_0) \tag{3}$$

$$I = 10 \log_{10} [(1 + (\pi f C_T Z_0)^2)] \tag{4}$$

式中: R_s 表示二极管级联电阻, C_T 表示二极管总的结电容, Z_0 表示微带线的特性阻抗。

2.2 低噪声放大器的设计

由于系统纵向长度的限制,两级低噪声放大器的设计采用了枝节线匹配方式,选用了价格便宜的 NE76084 低噪声管。信号的输入电平为 -30 dBm。设计仿真:在满足噪声小于 1.2 dB 的情况下,主要集中于增益带内平坦度和驻波的优化,其拓扑结构如图 3 所示^[3]。

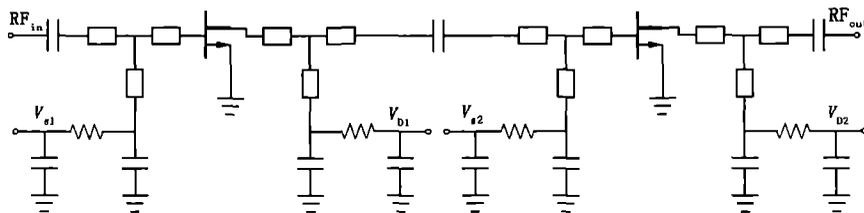


图 3 两级低噪声放大器拓扑图

2.3 中功率放大器的设计

由于对系统非线性的考虑,使得每级的工作状态都远离 1 dB 压缩点。因此,每级都工作于非最大增益状态。通过链路增益和器件优选考虑,选用 3 级中功率放大器,使系统的每级增益都在 11 dB 左右^[4]。对于中功率放大器的末级,由于其前接了 4 级放大器、其后又接了两极 SSPA。因此,输入输出必须有良好的射频隔离,才能保证系统稳定的工作,所以采用了两个 3 分支线桥的平衡式放大器,这样,不仅保证了级联的要求,又避免使用隔离器,降低了成本^[5]。其仿真结果如图 4 所示。

2.4 固态功率放大器的设计

根据链路的指标分配,两级 SSPA 需要提供不少于 15 dB 的增益,SSPA 的末前级采用 1 dB 压缩点输出功率为 4 W 的功率管(TIM5964-4),末级采用 1 dB 压缩点输出功率为 8 W 的功率管(TIM5964-8)。确保 5 W 的功率输出有良好的线性。

2.5 采样检波电路的设计

在 VSAT 的射频功率放大链工作过程中,为了保证功放输出电平的稳定和可调,避免由于输入射频信号电平过大而烧毁价格昂贵的固态功率放大器,必须在 SSPA 末级输出端对输出信号电平进行检测,用来调节输入信号电平。在本电路设计中,通过 SSPA 末级输出采用固定耦合检波、直流电压放大,放大电压经 A/D 变换后送计算机比较判断,输出直流控制电压对 SPST 开关进行控制。选取不同的控制电压,则可以实现自动电平控制(ALC)功能。

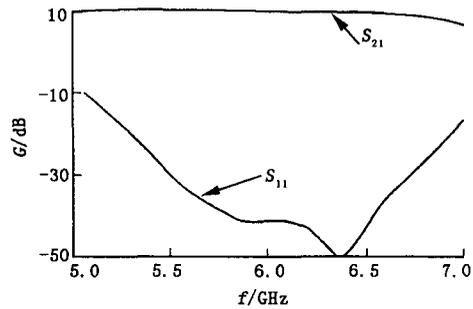


图4 中功率放大器末级仿真结果

3 测试结果

电路制作在 $\epsilon_1 = 2.6$ 的聚四氟乙烯介质基片上,输入输出接口采用标准的 SMA-KFD 接头,整个电路制作采用 MIC 工艺。对成品电路模块的幅度特性用 HP8757C 标量网络分析仪进行测试。测试结果表明:检波信号可以实现对开关电路的控制,在开、关两种状态下都有良好的幅频特性,开关导通状态与关闭状态幅度差为 40 dB。其开关两种状态的测试曲线如图 5、6 所示。同时,对前 4 级放大器的噪声进行了测量,噪声小于 2 dB,这样整个系统的噪声可保证在 3.5 dB 以内,满足了系统技术指标的要求。

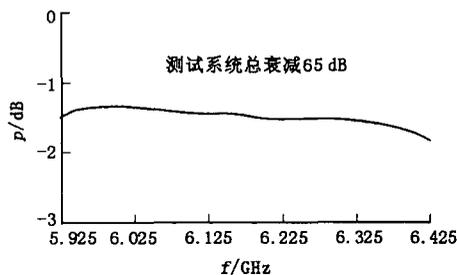


图5 VSAT 放大控制链开关通态测试结果

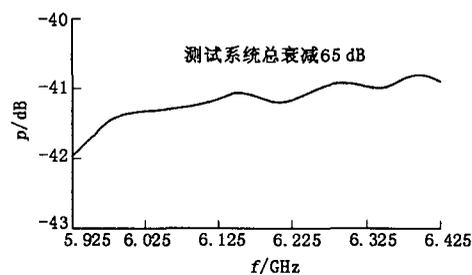


图6 VSAT 放大控制链开关关态测试结果

4 结论

在此项目的整个研制过程中,我们采用了计算机仿真与硬件制作测试相结合的研制方式。先进行指标初步分配,再进行模块电路的仿真设计制作和测试,在模块电路满足各自指标的情况下,对其进行整机联调测试,实现电路的定型。再对整机进行一体化设计形成产品。分机的各项性能指标满足系统总体的要求。

参考文献:

- [1] Weller. New Result Using Membrane-Supported Circuits A Ka-band Power Amplifier and Survivability Testing[J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 1996, 44: 1603-1606.
- [2] Mcgrath W R. Silicon Micro Machined Waveguides for Millimeter and Submillimeter Wave Frequencies [J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech, 1993, 3: 61-63.
- [3] 梁建刚,王光明,王积勤. 微波多级放大器电路拓扑优化[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2001, 2(6): 41-43.
- [4] 谢德芳,翁木云,郭兴阳. Ka 频段卫星上行链路开环功率控制算法研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2002, 3(1): 39-42.
- [5] 龙忠琪,叶幼慧. 微波集成电路仿真[M]. 北京:国防工业出版社, 1994.

(编辑:门向生)

(下转第 94 页)