



基于多环锁相环电路的卫星地球上变频器的设计

许国清¹, 张志旺², 侯蒙学³

1, 2, 3. 国家广电总局呼和浩特地球站 内蒙古 呼和浩特市 010070

【摘要】利用集成多环锁相环电路设计的卫星地球上变频器的频率综合器,把频率合成器的主要部件如参考振荡器、参考分频器、程序分频器、鉴相器、锁定指示器甚至微处理器等做在同一个芯片上,再配上压控振荡器、环路滤波器以及前置分频器,即可构成一个完整的频率合成器,使频率合成器的成本、体积和功耗都大大降低,简化了生产调试的复杂程度,而可靠性则明显提高,很好地满足了卫星上行高频率的要求,同时也满足了对频率的调整精度,为卫星通信提供可靠保证以及为卫星地球上变频器的设计开辟了新的道路。

【关键词】多环锁相环 卫星 上变频器 地球站 频率综合器

1 绪论

1.1 选题背景、意义

近年来卫星通信以其通信距离远、覆盖地域广、不受地理条件限制;具有多址连接特性,通信的灵活性大;传播稳定可靠,通信质量高;通信成本与通信距离无关,卫星通信建站的成本与通信距离无关;可用的无线电频率范围大(频带宽),通信容量大,传输业务类型多等特点,以及在抗击自然灾害和军事通信中的重要作用而得到大力发展。随着新技术、新需求的涌现,卫星通信产业发展方兴未艾,产业发展继续在推进。卫星通信产业与其它通信产业的融合已成为趋势,各种卫星通信网与各种地面通信网将进一步互连互通,共同构成立体的通信网。卫星数字电视直播已成为卫星应用产业的支柱产业,而卫星数字音频广播是具有发展潜力的新兴产业,卫星通信业务的数据业务所占份额逐步上升,适于传输卫星宽带数据业务的Ka频段通信卫星将得到广泛应

用。由于卫星通信的频率资源的不断紧缺和卫星波段范围增大的要求,对卫星上行信号对应的变频器要求也越来越高,必须要达到频率变化范围大,上行频率准确稳定,频率变化精度高等的要求,基于集成多锁相环路设计的上变频器满足了现代卫星通信的发展需求,得到了广泛应用。

1.2 集成多环锁相环频率合成器的发展概况

以往的多环频率合成器都是用分立元件和小规模的集成电路组装起来的,技术复杂,可靠性低、功耗大、体积大、成本高。除了在军事通信装备和某些特殊的电子设备中使用外,很难将其广泛应用于民用通信、广播和电视设备中。

随着大规模集成电路技术和高速数字电路技术的迅速发展,多环频率合成器逐渐像全集成方向化方向迈进。美国的Motorola公司、英国的Plessey公司等相继推出了多种的中、大规模集成多环锁相环频率合成器产品。近年来,国内也先后生产了若干种中规模的集成多环锁相环频率合成器产品。在这种

作者简介:许国清 国家广电总局呼和浩特地球站 站长 高级工程师
张志旺 国家广电总局呼和浩特地球站 机房副主任 工程师
侯蒙学 国家广电总局呼和浩特地球站 值班班长 工程师



大规模集成电路中,把频率合成器的主要部件,如参考振荡器、参考分频器、程序分频器、鉴相器、锁定指示器及微处理器等做在同一芯片上。再配上压控振荡器、环路滤波器以及高速前置分频器,即可构成一个完整的频率合成器。这使频率合成器的成本、体积和功耗都大大降低,简化了设计和生产调试的复杂程度,而可靠性则明显提高。所以,集成多环锁相环合成器电路的出现,为多环锁相环频率合成器的应用开辟了广阔的前景。

2 卫星通信的组成

2.1 卫星通信概述

卫星通信是地球上多个地球站(包括陆地、水面和大气层)利用空中人造通信卫星作为中继站而进行的无线电通信。卫星通信系统是由通信卫星、地球站和跟踪遥测及指令分系统和监控管理分系统组成。通信卫星由若干个转发器、多副天线与位置和姿态控制、遥测和指令、电源分系统组成,其主要作用是转发各地球站信号。卫星通信系统组成如图1所示。

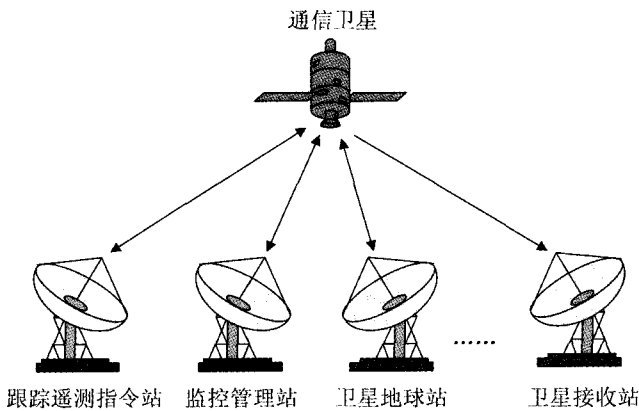


图1 卫星通信系统组成图

2.2 卫星上行地球站的主要作用和组成

地球站由天线、发射、接收、终端分系统及电源、监控和地面设备组成,主要作用是发射和接收用户信号。跟踪遥测指令站是用来接收卫星发来的信标和各种数据,然后经过分析处理,再向卫星发出指令去控制卫星的位置、姿态及各部分工作状态。监控管理分系统,对在轨卫星的通信性能及参数进行业务开通前的监测和业务开通后的例行监测与控制,以便保证通信卫星的正常运行和工作。但是对于一般上行地球站的作用就是把信号进行编码、调制,

然后将调制好的信号进行频率变化,变频到所相应的卫星转发器所需要的上行频率信号,之后通过功率放大器将信号放大后,经过馈源把信号发射到卫星上去,完成信号的上行工作。同时上行地球站也对上行信号进行下行的接收,来实时的监测上行效果。为了使上行可靠稳定,地球站还配备其它的系统。如图2所示。

3 卫星地球上变频器概述

3.1 卫星地球上变频器的作用

现在卫星通信中使用的上行频率,也就是卫星转发器的接收频率范围分为:C波段(3~6 GHz)、Ku波段(12~14 GHz)、Ku扩展频段(17~20 GHz)、Ka波段(20~30 GHz),通常我们卫星地球站的调制器输出信号为70 MHz或者是140 MHz。那么卫星上变频器的主要作用就是将调制后的信号进行频率变换,使频率达到转发器所需要的接收频率,然后将信号发送到卫星上面,当然上变频器还有信号放大的作用。

3.2 基于集成多环锁相环频率合成器卫星地球上变频器的设计背景

随着卫星通信的频率资源不断紧缺,卫星之间和转发器之间的保护带宽和频率间隔越来越小,使得对卫星地球上变频器的上行频率精度和稳定有了新的要求,而卫星业务和其它业务不断融合,使卫星通信波段范围不断增大,所以对卫星上行信号对应的变频器输出频率范围要求也越来越高,必须要达到频率变化范围大,同时要满足成本低、体积小、功耗低的特点。对应以上的实际需要我们研究和设计了基于集成多环路锁相环频率合成器的卫星地球上变频器,通过它来满足当前卫星通信的需求。

3.3 基于集成多环锁相环频率合成器卫星地球上变频器的结构和工作原理。

3.3.1 上变频器概述

此上变频器采用了二次变频技术,用在一般通信系统或者是卫星上行系统中,用于传输SCPC或者是DAMA和TDMA信号,也可用于传输高清数字电视和模拟电视信号。可达到对射频信号有35 dB的增益,在1 dB压缩点可以输出10 dBm的信号电平,所以在链路中可以使用长的电缆,而不用额外增加线性放大器,在后面板提供了精选的232和485串行通信接口,所有的配置控制、状态采集和调整都可以通过它来远控完成。

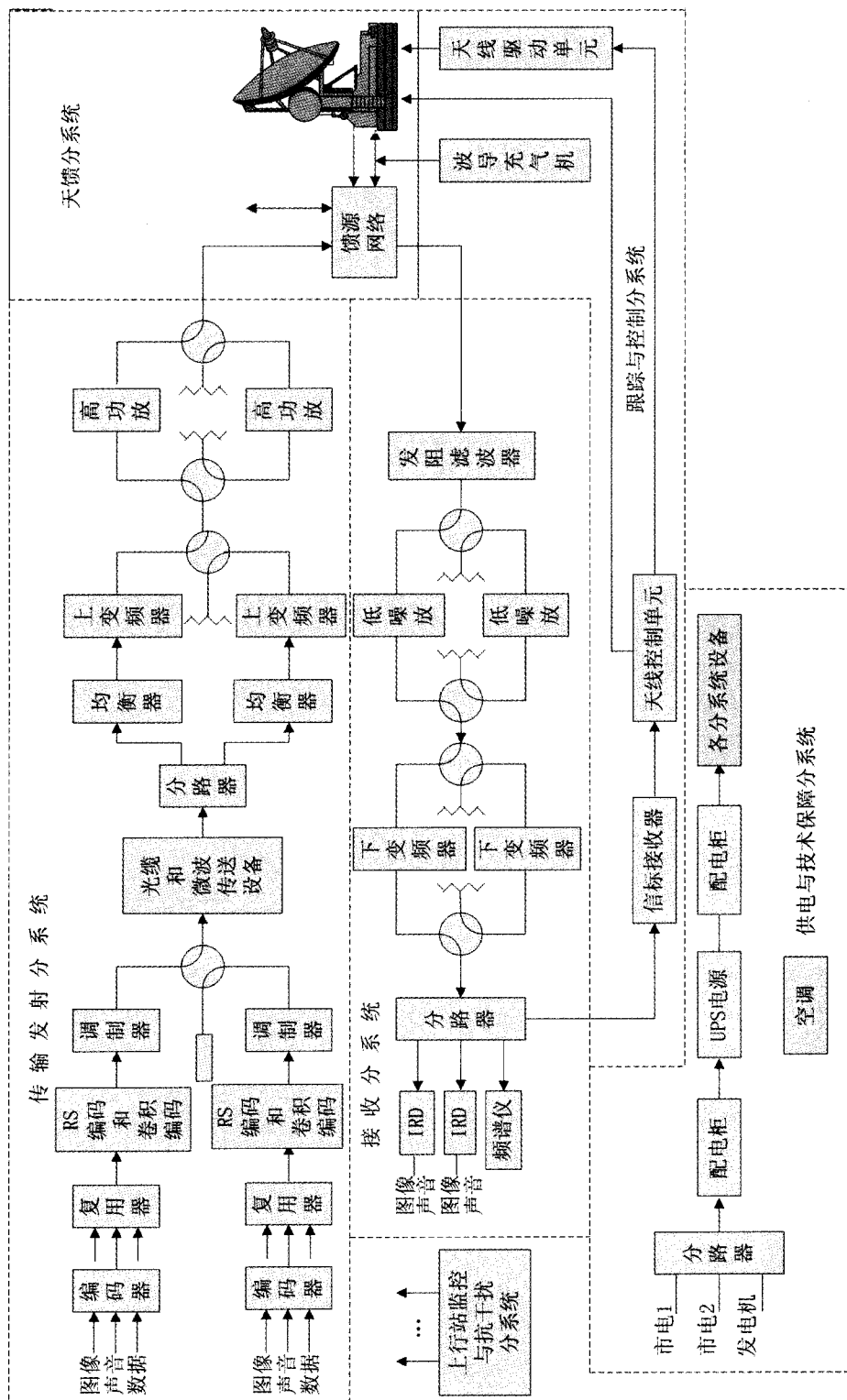


图2 卫星上行地球站的系统组成图

3.3.2 上变频器的内部结构和组成

上变频器主要由输入输出模块、放大器、混频器、滤波器、参考本振源、频率综合器，以下是上变频器的内部结构如图3所示。

3.3.3 上变频器的工作原理

图3中，70 MHz的中频信号经过I/O模块进入到SIGNAL PATH MODULE后放大，与IFLO输出频率1150 MHz信号进行混频产生1220 MHz的信号（一次变频），再和频率综合器输出的11530~12030的信号混频（二次变频），混频后的信号经过滤波放

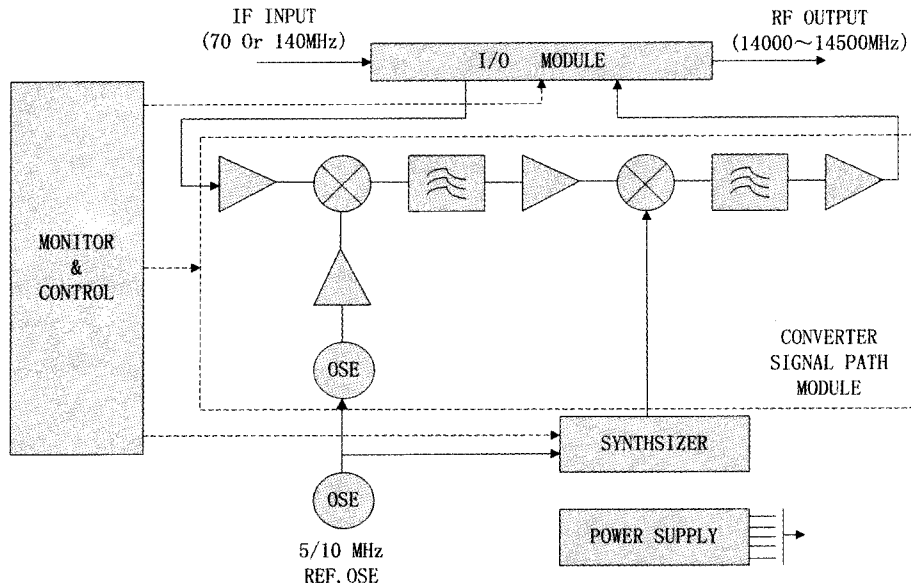


图3 上变频器结构组成图

大后，通过 I/O 模块输出所需频率的射频信号。

3.4 上变频器的内部模块设计及作用

3.4.1 上变频器的组成

上变频器由输入输出模块、监控模块、信号路径单元、滤波模块、步进模块、电源模块和总环模块组成。

3.4.2 各组件情况

- (1) 输入输出模块。主要负责信号的输入输出及信号的测试，比如采样等，对主机还有信号切换功能。
- (2) 监控模块。主要是监视上变频器的各项参数和设置，并且提供将命令输入到上变频器的功能，对于遥控通过 232 或者是 485 接口通信实现，对于本地是通过 LCD 和键盘来实现。
- (3) 信号路径单元。完成对信号的二次混频、放大等功能。
- (4) 滤波模块。完成对信号的滤波作用。
- (5) 步进模块。实现频率综合器的步进调整。
- (6) 电源模块。提供设备需要的各种电压等级的电源。
- (7) 总环模块。提供相应频率的信号，使输入信号与之进行混频达到需要的输出频率。

4 集成多环锁相环频率综合器的设计

4.1 集成多环锁相环的概述

集成多环锁相环频率合成器是把多环频率合成器的主要部件如参考振荡器、参考分频器、程序分频器、鉴相器、锁定指示器甚至微处理器等做在同一个芯片上，再配上压控振荡器、环路滤波器以及前置分频器，即可构成一个完整的频率合成器，使频率合成器的成本、体积和功耗都大大降低，简化了生产调试的复杂程度，而可靠性则明显地提高。由于具备了以上的优点，所以为频率合成器的应用开辟了广阔的空间。

4.2 锁相环的组成和工作原理介绍

4.2.1 锁相环路概述

锁相环路 (Phase-Locked Loop, 简称 PLL) 是一种反馈电路，其作用是使得电路上的时钟和某一外部时钟的相位同步。因锁相环可以实现输出信号频率对输入信号频率的自动跟踪，所以锁相环通常用于闭环跟踪电路。锁相环在工作过程中，当输出信号的频率与输入信号的频率相等时，输出电压与输入电压保持固定的相位差值，即输出电压与输入电压的相位被锁住，这就是锁相环名称的由来。

4.2.2 锁相环的基本组成

锁相环结构如图 4 所示。

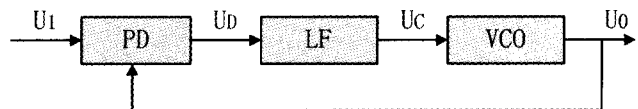


图4 锁相环路结构图

锁相环通常由鉴相器 (PD)、环路滤波器 (LF) 和压控振荡器 (VCO) 三部分组成。

锁相环中的鉴相器又称为相位比较器,作用是检测输入信号和输出信号的相位差,并将检测出的相位差信号转换成 $U_D(t)$ 电压信号输出,该信号经低通滤波器滤波后形成压控振荡器的控制电压 $U_C(t)$,对振荡器输出信号的频率实施控制。

4.2.3 锁相环的工作原理

锁相环是相位误差控制系统。它比较输入信号和压控振荡器输出信号之间的相位差,从而产生误差控制电压来调整压控振荡器的频率,以达到与输入信号同频。

4.3 锁相环在频率合成电路中的应用

在现代电子技术中,为了得到高精度的振荡频率,通常采用石英晶体振荡器。但石英晶体振荡器的频率不容易改变,利用锁相环、倍频、分频等频率合成技术,可以获得多频率、高稳定的振荡信号输出。

输出信号频率比晶振信号频率大的称为锁相倍频器电路;输出信号频率比晶振信号频率小的称为锁相分频器电路。锁相倍频和锁相分频电路的组成框图,如图 5 所示。

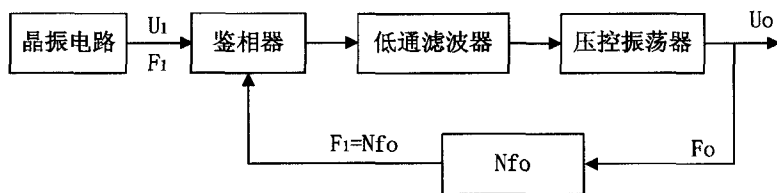


图 5 锁相倍频和锁相分频电路的组成框图

图 5 中的 N 大于 1 时,为分频电路;当 N 小于 1 时,为倍频电路。

4.4 锁相环保持高转换速度和高灵敏度的解决方案

在频率综合器的设计中我们不仅要保证频率的范围和频率变化的精度(最小变化值),还要保证频率的快速转换速度。那么用较高的参考频率保持快速转换速率,同时还能得到高频率分辨率的一种办法是在锁相环环路的输出端再进行分频,如图 6 所示。

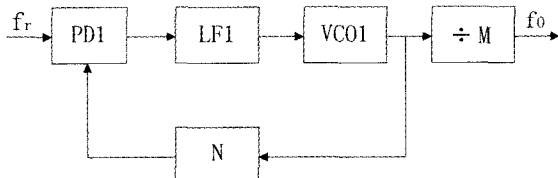


图 6 采用后置分频器锁相环方框图

图 6 中采用较高的参考本振 f_r ,使锁相环保持了快转换速度。而 VCO1 输出频率经过 M 次的分频之后: $f_o=Nf_r/M$,式中 N 为环内可编程分频器, M 为环内固定分频比,故频率分辨力为 f_r/M ,只要 M 足够大就能得到很高频率的分辨力。

注意:VCO 工作频率需比所要求的输出频率高 M 倍,有时可能是不现实的。

4.5 设计的集成多环锁相环频率合成器的结构及原理

集成多环锁相环频率合成器的结构如图 7 所示。多锁相环频率合成器中用几个环路来得到高频率分辨力。较高频率的锁相环路提供频率分辨力差一些的输出,较低频率锁相环利用在设置后置分频器的方法,在高参考频率上得到高的频率分辨力,然后再用另一个锁相环路将这个频率加起来,最终获得较高的工作频率,且有很好的频率分辨力。

PLL2 为高位环,它工作在较高的频率,但是它的频率分辨力为 f_r 。它的主要作用是实现 f_r 的倍数整数倍的变化,主要是进行频率的大范围的变化,所以 PLL2 也叫粗环。

图 7 中 PLL1 为低位环,它虽然也工作在较高的频率,频率分辨力也为 f_r ,但经过后置的 $\div M$ 固定分频之后,输出频率较低,而频率分辨力可提高到 f_r/M 。它主要来满足频率小范围的变化,决定了锁相环路的最小频率变化值,所以叫细环。

图 7 中 PLL3 我们称之为总环,它的作用就是将 PLL1 和 PLL2 输出的频率进行混频,并经过锁相环路来输出我们所需要的频率。

我们通过控制电路来对各个环路的 N 值进行控制,然后达到所需要输出的频率信号。

以我们设计的 UT4500 为例, f_r 为 5 MHz,那么, $N_2=2540-2889$,则 f_2 的输出频率为 12.700-14.445 GHz 频率的信号,频率分辨力为 5 MHz。设计 $N_1=550-590$,那么 PLL1 的输出频率为 $f_r \times N_1 = 2-2.2$ GHz 频率的信号。经过 $M=40$ 分频后,输出信号 $f_M=f_r \times N_1/M=50-55$ MHz 频率的信号,它的工作频段带宽为 5 MHz,正好等于 PLL2 的频率分辨力,而 f_M 的频率分辨力为 125 kHz,通过 PLL3 将 f_M 和 f_2 相加后,得到合成频率为 12.75~14.5 GHz 的合成信号。

注意:这里的 N_1 选择一要保证 PLL3 的转换速度不能低于 PLL1 和 PLL2 的转换速度,否则会影响整机的性能。另外 PLL3 的混频比要适当,以便于带

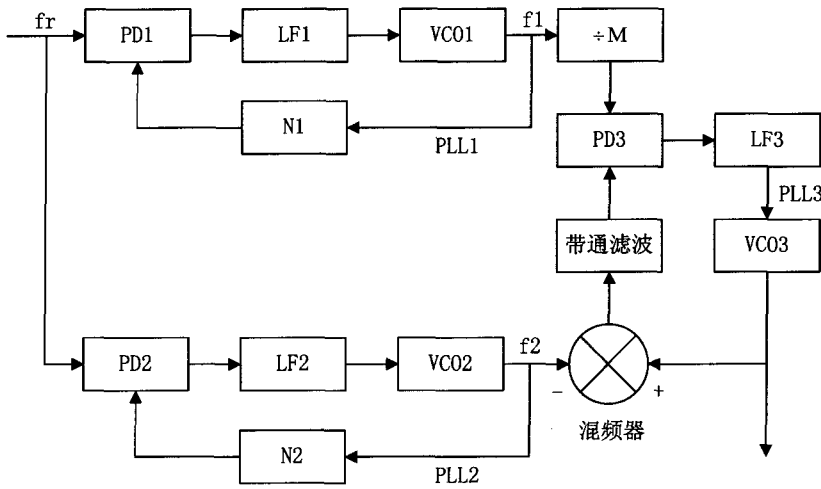


图7 集成多环锁相环频率合成器的结构图

上变频器的频率范围、稳定度和精度都提出了新的要求。

集成电路制造工艺和无线通信技术的迅速发展,实现全集成、多制式、低成本的无线收发器已成必然趋势。频率合成器作为卫星地球站上变频器的核心部件,是决定上行链路性能好坏的关键因素。

可喜的是近年来,频率合成器技术得到了飞速的发展,尤其是大规模集成化电路技术的大力发展,这使频率合成器的成本、体积和功耗都大大降低,简化了设计和生产调试的复杂程度,而可靠性则明显提高。

所以,集成多环锁相环合成器电路的出现,满足了卫星通信对变频设备的要求,同时为多环锁相环频率合成器在卫星通信中的应用开辟了广阔的前景。

通过多集成多锁相环在卫星地球站上变频器中的应用,使卫星地球站的上行频率范围和频率精度和稳定度能够达到现代卫星通信的要求,为卫星通信上变频器的发展开辟了一条新的道路。

审稿人简介:何文 内蒙古广播电影电视局501台
台长 正高级工程师

编辑 校对:杨雪梅

通滤波器将和频成分滤除。

合成器的转换时间是由高、低位环共同决定的,因为两环都用了5 MHz的参考频率,所以即使分频力达到125 kHz,而总的转换时间不变。

5 结论

近年来,随着卫星通信技术的飞速发展,卫星通信正在向高频段、高密度发展,相应的工作频段在不断地拓展提高,由于频率资源的日趋紧张,信道间隔不断减小。对于卫星上行系统中的重要设备,

(上接第27页)

(3) 输入电源保护。

电源系统由外部提供双路-48V/-60V直流电源输入,互为备份保护,任何一路外部输入的-48V/-60V电源发生故障都不会影响设备的正常工作。

(4) 集中电源保护。

系统对除XCS以外的所有单板的二次电源采用分散供电,集中保护的方案。

SCC单板包含PBU电源备份单元,可为系统提供1:N电源备份功能。系统使用SCC单板对每个子架上的除XCS以外的所有单板的+3.3V电源进行集中电源保护,提供二次电源备份。当系统检测到除XCS以外单板的自身电源故障(过欠压)时,可以在600μs内切换到由PBU电源备份单元供电,保证单板正常工作。

5 结束语

综上所述,此次扩容不仅解决了呼伦贝尔与阿拉善的业务瓶颈,还为下一步的IP数据网的搭建打下了网络框架基础,能够实现点对点的星型传输拓扑结构,真正意义上建立了省级波分干线。设备上采用了先进的Optix OSN 6800智能光传送平台,可以更好地实现光层与电层的调度,使得整个网络能够动态灵活的开展各种业务。

审稿人简介:尤效成 内蒙古广播电视信息网络有限公司
董事长 正高级工程师

编辑 校对:杨雪梅