

高精度度扫频信号源的实现

朱延海

(江苏警官学院 公安科技系,江苏 南京 210012)

[摘要] 介绍了扫频信号源是各类扫频仪和网络测试仪的关键,不同的应用场合有不同的侧重,对于使用广泛的宽带扫频信号源,采用混频的方法解决倍频程的问题,对扫频线性和频率稳定、频率精确方面加以控制.采用锁相技术实现合成扫频信号源在工程上的具体应用,宽带扫频信号源的设计采用多环控制,扫频和固频均采用锁相环路,环路中结合吞脉冲技术,扫频振荡环路解决扫频线性度问题,并综合考虑各环节在工程实践上的具体问题,在高速分频的处理上采用 ECL 电路,压控振荡器采用高速模拟器件,电源供电等环节均加以适当处理,以提高信号源的整体性能.

[关键词] 扫频信号源,锁相,压控振荡器

[中图分类号] TN753.7 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1672-1292(2006)01-0020-04

The Realization of the Precise Frequency Sweep Signal Source

ZHU Yanhai

(Department of Forensic Science, Jiangsu Police Officer College, Nanjing 210012, China)

Abstract: Frequency sweep signal source, which emphasizes on different aspects according to different situations, is the keystone of various sweepers and network test sets. As a result of octaves, widely-used broad band frequency sweep signal source always exploits mixing to produce output signals, which will achieve a better result if controlled well in such aspects as frequency sweep linearity, frequency stability and frequency precision. At present, due to the lower stability and accuracy of domestic frequency sweep signal source, the technology of using phase lock to produce frequency sweep signal source has been applied many times. In order to design broad band frequency sweep signal source, multiring is used, and frequency sweep and fixed sweep adopt phase lock loop circuit, while considering concrete problems in each step. ECL circuit is used during the treatment of high-speed fractional frequency, while VCO using high-rate analog device, and also with the treatment of power supply, hence the overall performance of source will be improved. With the improvement, the source can provide precise input standard in some measurements on oscillators, amplifiers, cables, standing wave, frequency spectrums, etc., which will make the whole measurement process more accurate and credible.

Key words: frequency sweep signal source, phase lock, VCO

0 引言

在现代电子测量技术中,经常会涉及到被测电路幅频特性的测试问题,对于一般的应用,比如声表面波滤波器,人们可能仅关心在一定的频带范围内的幅度变化,生产过程中的测试环节就是这样,操作人员可以通过仪器设备快速获取波形曲线来判断产品是否合格.而在有些应用领域,人们还会关心被测电路的频谱分布.另外,有的应用场合要求在宽频带范围内观察被测件,而有时则要在高精度、窄带的条件下进行精确测量,所有这些场合均需要高精度、高稳定度的扫频信号源.目前国产的多数扫频信号源或带测量通道及显示的扫频仪其精度都不高,其扫频振荡器本身精度不高是主要原因,这类信号源往往没有精准的频率控制环路,其频谱纯净度也不太理想,频率不稳,扫频线性不好,平坦度不够,在要求较高的测试场合仍然是进口高档仪器一统天下,而进口仪器的高价位制约了中小公司的使用,寻求高性价比的扫频信号源是

收稿日期: 2005-08-25.
作者简介: 朱延海 (1970-),讲师,主要从事电子信息与计算机应用等方面的教学与研究. E-mail: zhuyanhai@jpi.gov.cn
— 20 —

摆在我们面前的一个重要任务.

1 带锁相扫频信号源整体方案

本文所研究的扫频信号源扫频范围在 0 ~ 1 300 MHz,之所以如此考虑,是因为在这一频段的扫频应用面相当广,具有良好的社会效益和经济效益,对于这一频段的扫频信号源,其倍频程已远远超过了利用单一振荡直接产生的可能,故基本思路仍然是采用混频的方法:一个振荡器工作在 2 300 ~ 3 600 MHz 的高频扫频范围,另一个振荡器工作在 2 300 MHz 的固定频率,通过混频滤波后产生 0 ~ 1 300 MHz 的扫频信号输出,经 1 800 MHz 滤波器和 1 800 MHz 宽带放大器处理后,输出高质量的扫频信号.

为了达到高精度、高稳定度的输出,两个振荡器均采用锁相技术.锁相环路是一个能够跟踪输入信号相位的闭环自动控制系统,主要由鉴相器(PD)、环路滤波器(LF)和电压控制振荡器(即压控振荡器,VCO)3个基本部件组成.压控振荡器的输出经一系列分频后加到鉴相器上,与输入的参考信号进行相位比较,鉴相器输出的误差信号经环路滤波器后加到压控振荡器上调整其振荡频率,当环路进入锁定同步状态时,在输入信号频率固定的条件下,环路输出信号与输入信号之间频差等于零,相差等于常数.只要能保证输入参考信号的精确度和稳定度,锁相环路设计良好,就能获得高质量的振荡输出.

扫频振荡器和固频振荡器在锁相环中对高频信号的分频,均采用了 ECL 高速器件进行预分频,提高了电路的可靠性.且固频振荡器锁相环采用吞脉冲技术,在不改变频率分辨力的同时提高压控振荡器输出频率;固频振荡器锁相环之鉴相输入参考频率为 1 MHz,保证了快速的频率转换.对于扫频振荡器锁相环,其鉴相器输入为 9 ~ 14 MHz 的扫频信号,这一扫频也采用锁相技术以提高精度,这就保证了高频扫频信号的精确度和稳定度.原理框图如图 1 所示.

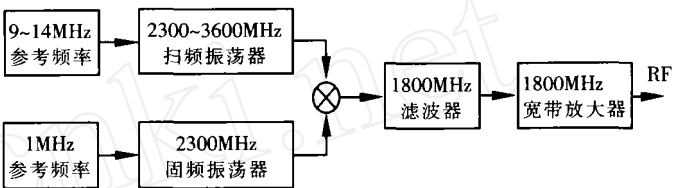


图 1 0 ~ 1 300 MHz 扫频信号发生器原理框图

2 固频振荡器单元电路实现

对于 2 300 MHz 的固频振荡器,其实现框图如图 2 所示.

具体工作过程:压控振荡器输出高频信号必须经一系列分频后与鉴相器的参考标准信号 1 MHz 进行相位比较,鉴相器输出调整信号经环路滤波器消除高频成分,以提高环路性能,然后送入积分器形成调整电压对 VCO 进行控制.

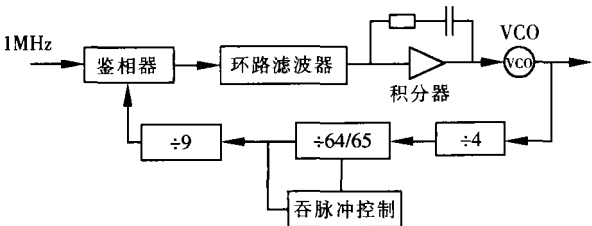


图 2 2 300 MHz 固频振荡器原理框图

2.1 ECL 预分频电路

加到锁相环鉴相器上的参考频率为 1 MHz, VCO 输出的 2 300 MHz 高频信号须经一系列降频后送鉴相器进行相位比较,这样的高频必须先由高速器件进行分频,这里采用 ECL 器件电路先进行 4 分频, ECL 即射极耦合逻辑,是带有射随输出结构的典型输入输出接口电路, ECL 电路的最大特点是其基本门电路工作在非饱和状态,因此 ECL 又称为非饱和性逻辑.也正因为如此, ECL 电路的最大优点是具有相当高的速度.这种电路的平均延迟时间可达几个 ns 数量级甚至更少.所以 ECL 电路的逻辑摆幅较小(仅约 0.8 V).当电路从一种状态过渡到另一种状态时,对寄生电容的充放电时间将减少,这也是 ECL 电路具有高开关速度的重要原因.另外, ECL 电路是由一个差分对管和一对射随器组成的,所以输入阻抗大,输出阻抗小,驱动能力强,信号检测能力高,差分输出,抗共模干扰能力强;但由于单元门的开关管对是轮流导通的,对整个电路来讲没有“截止”状态,故电路的功耗较大^[1].

在本设计方案中, ECL 采用正电源的系统(+5 V),将 V_{CC} 接到正电源而 V_{EE} 接到零点.这样的电平通常被称为 PECL (Positive Emitter Coupled Logic).输出射随器工作在正电源范围内,其电流始终存在,这样有利于提高开关速度.在使用 PECL 电路时要注意加电源去耦电路,以免受噪声的干扰.输出采用交流耦

合,耦合电容靠近发送端放置.

2.2 吞脉冲电路

由于采用了前置分频,可以使得压控振荡器的输出频率提高,但输出频率只能以预分频的增量变化,这就降低了频率分辨力.若想不降低分辨力,则要求鉴相器输入参考频率降低,而这又会使频率转换时间延长.为了克服这一矛盾,采用吞脉冲技术,也即采用变模分频器.本方案中采用双模分频器,两个分频模数为 64/65,当模式控制为高电平时分频模数为 $V+1(65)$,模式控制为低电平时分频模数为 $V(64)$,双模分频器的输出同时驱动两个可编程分频器,分别预置在 N_1 和 $N_2(N_1 > N_2)$,并进行减法计数.这样双模分频器的工作频率为 VCO 经 4 分频后的频率上,频率较高,而两个可编程分频器的工作频率已降为该频率的 $1/N$ 或 $1/(V+1)$,VCO 的频率分辨力仍为参考频率,没有降低,频率转换时间也没有受到影响^[2].

2.3 鉴相器电路

上述双模分频器电路输出信号频率经 9 分频后加到鉴相器,与参考频率 (1 MHz)进行相位比较,电路如图 3 所示.

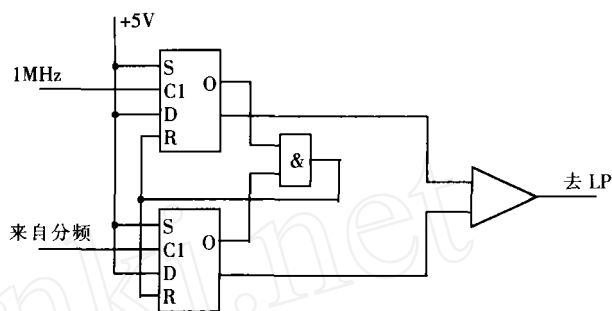


图3 鉴相电路

2.5 积分电路

2.5 积分电路

对环路滤波电路输出的信号电压进行积分,以形成压控振荡器的控制电压。积分电容的选取应注意选择泄漏电阻大的电容。

2.6 压控振荡电路

压控振荡器可采用变容二极管组成的高频 LC 振荡器或 YIG 小球振荡器. 对于变容二极管组成的电路, 是利用加在变容二极管上的电压发生变化时, 二极管的等效电容会发生变化的特性, 由变容二极管和电感组成 LC 振荡电路, 其频率受电压的控制, 从而组成压控振荡器. 由于二极管的等效电容在一定的电压范围内变化量不是很大, 可采用两个变容二极管背靠背或面对面串接的方法, 这也有利于扫频线性的改善. 对于工作在 2 300 MHz 这样的高频振荡器, 电路的分布参数对频率有重要影响, 应适当调整使锁相环易于进入捕获带. 另外, 振荡器腔体和电路元件的分布参数对频谱纯度也有重要影响^[4].

对于 2 300 MHz 固频振荡器不存在扫频线性度的问题,而在 2 300 ~ 3 600 MHz 扫频振荡器电路中就要考虑,为此可在压控振荡器前级加一线性化调整电路。由于压控振荡器频率很高,为避免高频成分通过电源影响系统中其他电路,除了 VCO 本身要加良好的屏蔽以外,对 VCO 的供电电路也要加以考虑,电源可考虑采用达林顿电路,并在导线上加磁环,保证高频不经电源串入其他电路单元^[5],如图 4 所示。

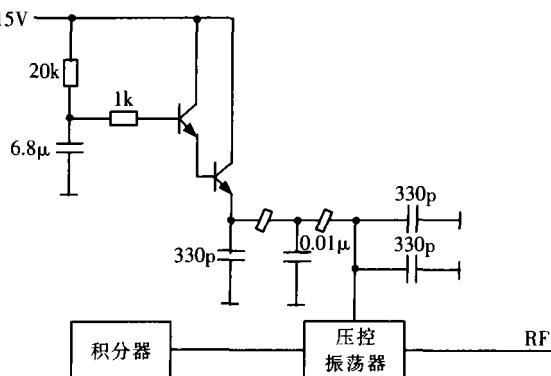


图4 压控振荡器电源电路

3 扫频振荡器单元电路实现

对于 2 300 MHz ~ 3 600 MHz 扫频振荡器,其实现框图如图 5 所示.

其工作过程如下:压控振荡器输出高频扫频信号经高通滤波器和宽带放大器后送分频电路以降频,然后送入鉴相器与 9~14MHz 的高精度扫频参考频率鉴相,鉴相输出经积分后送入线性化电路进行处理,以提高扫频线性度,输出的经畸变的锯齿形电压送 VCO 以控制扫频振荡器的频率。

3.1 高通滤波器

下限为 1 800 MHz 的高通滤波器可以有效地滤除一些低频无用成分,有利于整个锁相环路的工作,可以提高环路的捕捉能力,对有用的高频成分不受影响,下级隔离放大器一方面对信号进行适当的整形放大,另一方面为 ECL 分频电路提供电平转换。

3.2 分频电路

与固频振荡器锁相环中的对应部分相比,这里处理比较简单,4分频和64分频均采用高速的 ECL 器件实现。

3.3 鉴相器电路

与固频振荡器锁相环中的对应部分相比,电路形式基本一样,仍采用触发器型鉴相器,只是后面没加环路滤波器,而是直接送积分器处理。

3.4 积分电路

与固频振荡器锁相环中的对应部分相比,电路的反馈支路中增加了两只稳压管以嵌位输出电平,使其控制在一定范围内,防止失锁时输出电平过高,固频振荡环中不需考虑。

3.5 线性化电路

对扫频振荡器而言,扫频线性度是指在整个扫频宽度范围内,频标之间的间隔的均匀程度。这一指标虽然并不影响测量曲线的正确性,但在进行频率估计时会带来不便。虽然估计误差实际上非常小,但在外观感受上让人不愿接受。作为高精度的扫频信号源,扫频线性有必要进行优化。由于压控振荡器的输出频率难以和其受控电平呈线性关系,为此可预先将该电平作适当畸变,以使最终的频率输出线性度良好。

3.6 压控振荡器

与固频振荡器锁相环中的对应部分相类似,VCO的供电部分也采用达林顿电路,以减少高频信号通过电源的辐射,电源线上也应套磁环增加抗干扰能力。

4 结语

现代电子测量仪器是一个完善的系统,必须充分运用模拟、数字以及计算机等方面的技术,任何单一技术均不易独立完成一个复杂的系统,它们相互之间有时是不能互相替代的。数字技术、单片机技术、数字信号处理技术的飞速发展,虚拟仪器应用领域的不断拓展,都不能抛开模拟技术,而模拟技术也不能离开各种自动控制,这是整个电子技术的发展。对于本文提出的方案,正是各项技术的综合应用,对于高精度、高稳定度的扫频信号源,其可靠工作正是一个完整测试系统中的一个部分。

[参考文献] (References)

- [1] 许姜南. 数字逻辑电路 [M]. 修订本. 南京:东南大学出版社, 1997: 46~ 49.
XU Jiangnan Digital Logic Circuit [M]. Rev ed Nanjing: Southeast University Press, 1997: 46~ 49. (in Chinese)
- [2] 万心平, 张厥盛, 郑继禹. 锁相技术 [M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 1991: 159~ 169.
WAN Xinping, ZHANG Juesheng, ZHENG Jiyu Phase Locking Technique [M]. Xi 'an: Xidian University Press, 1991: 159~ 169. (in Chinese)
- [3] 吴镇扬. 数字信号处理的原理与实现 [M]. 南京:东南大学出版社, 1998: 69~ 74.
WU Zhenyang The Principle and Realization of Digital Signal Processing [M]. Nanjing: Southeast University Press, 1998: 69~ 74. (in Chinese)
- [4] 鲁特金. 常用电子测量仪器的使用 [M]. 北京:电子工业出版社, 1991: 21~ 26.
RUTKN A M. The Use of Typical Electronic Measuring Apparatus [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1991: 21~ 26. (in Chinese)
- [5] 张纪成. 电路与电子技术 (中册·模拟电子技术) [M]. 北京:电子工业出版社, 2002: 172~ 178.
ZHANG Jicheng Circuit and Electronic Technique (No 2 Simulative Electron Technique) [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002: 172~ 178. (in Chinese)

[责任编辑:刘健]

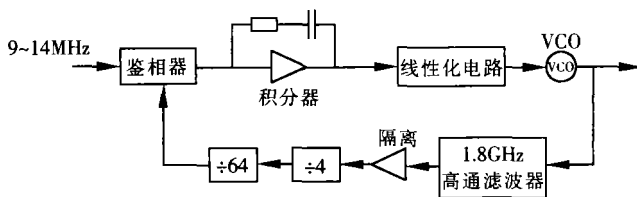


图 5 2 300~3 600 MHz 扫频振荡器原理框图