

## 基于倍频链的宽带 LFM 信号产生器设计

夏铁骑 姒 强 向敬成

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

**摘 要:** 该文的研究工作以线性调频 (LFM) 脉冲压缩信号为基础, 采用直接中频产生技术加倍频链技术设计实现了中心频率 1200MHz, 带宽 200 MHz 和 66.7 MHz 的双分辨力 LFM 雷达脉冲压缩波形产生系统。实测结果表明, 该系统产生信号的带外杂散、谐波优于 -55dB, 带内起伏小于 2dB, 脉冲压缩主副比达到 30dB 以上, 系统稳定, 性能指标达到实用系统的总体要求。

**关键词:** 线性调频, 倍频链, 双分辨力, 直接中频产生

**中图分类号:** TN78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2005)03-0492-03

## Wide Bandwidth LFM Signal Generator Based on Double Frequency Chains

Xia Tie-qi Si Qiang Xiang Jing-cheng

(College of EE, UEST of China, Chengdu 610054, China)

**Abstract** Based on Linear Frequency Modulated (LFM) pulse compression signal, a system which has two resolution with 1200MHz carrier and 200MHz and 66.7MHz bandwidth, is designed and implemented. According to the measurement results, the spurious signals involved in the system output as well as the harmonic signals are lower than -55dB, the ripple in the band is below 2dB, and pulse compression Ratio of Mainlobe to Sidelobe (RMS) reaches 30dB. The system is quite stable and its performance meets the requirement of actual application.

**Key words** LFM, Double frequency chains, Double resolution, Direct Intermediate Frequency (IF) generation

### 1 前言

宽带、超宽带 (Ultra Wide Band) 雷达具有良好的空间分辨能力<sup>[1]</sup>, 使其在目标成像和背景杂波中目标的识别方面具有巨大的潜力。宽带或超宽带脉冲压缩信号是现代高分辨雷达的关键技术之一。因此, 利用数字波形产生技术<sup>[2]</sup>研制高质量的实用宽带、超宽带脉冲压缩信号源对我国的雷达事业的发展及国防现代化建设具有重要的意义。本文采用直接中频产生技术加倍频链技术设计实现了中心频率 1200MHz, 带宽 200 MHz 和 66.7 MHz 的双分辨力 LFM 宽带雷达脉冲压缩波形产生系统。

### 2 方案选择

由于受数字电路速度的限制, 现在所采用的宽带、超宽带雷达信号都是通过倍频方式产生的。一般情况下, 采用 3, 4 级倍频链电路, 通过倍频、功放、滤波等一系列处理就可以实现所需要的宽带、超宽带信号<sup>[2]</sup>。根据系统技术要求,

可以有如下两种方案:

**方案 1** 直接产生 I, Q 两路基带信号, 通过正交调制器产生中频信号。该方案具有较大的通用性, 但由于受器件和引入正交调制的影响, 必然引入非严格正交性、幅相不一致性、载波泄漏大等缺陷, 影响了波形的质量。但对于中频较高、带宽较宽的系统无疑是一种很好的方案。在此基础上通过倍频的方式产生宽带或超宽带雷达信号。

**方案 2** 直接产生中频信号, 无需正交调制, 可以避免方案 1 的不利因素带来的影响, 波形质量有较大的提高, 是一种很有发展前景的波形产生方案。但此种方案由于受数字器件速度、精度、容量等因素的限制, 目前只能用于中频较低场合, 还不能产生高中频宽带雷达信号。在此基础上通过倍频的方式产生宽带或超宽带雷达信号。本文选择了此方案。

### 3 双分辨力宽带脉冲压缩信号产生系统电路设计

宽带双分辨力 LFM 信号产生系统的完整电路框图见

图1, 电路设计综合考虑了数据传输、波形产生、波形分离、倍频、滤波、功率增益补偿和波形合成等因素。对图1电路框图和工作流程简述如下: 优化设计完成的 LFM 信号两组样值数据固化于波形数据存储单元中, 当电路加电且工作中波形选择有效时, 样值数据存储器将当前待产生信号的样值数据传送到高速数据缓存器; 经由启动信号激活和时钟信号驱动, 周期性地输出数据到锁存器, 经过 TTL/ECL(T/E)转换后输出到切换开关阵列, 进而合成一路 ECL 数据流, 然后传送到 D/A 变换器, 形成直接中频信号。最后分两路分别完成倍频、放大、滤波, 从而完成频带的扩展。

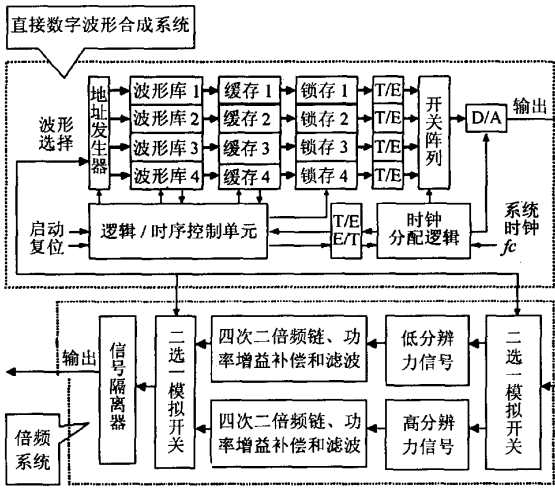


图1 LFM 信号产生系统电路结构框图

值得一提的是, 基于直接中频产生的脉冲压缩信号的中频和带宽都较低, 必须引入倍频系统。倍频不仅展宽了调频带宽, 也产生了大量有用、无用的谐波, 频率关系复杂、谐波分量多, 同时还损失了信号能量。倍频同时增大了系统设计和实现难度: 因选择性要求高使得滤波器设计严格, 因工作频率高使得电路设计、形成工艺考究且调试难度大。同时, 为了保证系统的电磁兼容性, 采用了金属盒屏蔽, 并配合专用电磁吸收材料, 起到良好的效果。

### 4 系统实现的关键技术

#### 4.1 时序控制

系统中的低速控制逻辑电路和 EPROM 地址发生器均由大规模可编程逻辑器件实现, 从而简化了 PCB 设计, 使电路调试灵活方便。实际选用的是高速复杂可编程逻辑器件 (CPLD), 它主要完成: 系统复位和状态控制逻辑; EPROM 地址产生逻辑; 波形选择参数的锁定和确认逻辑; 实现数据加载所需的 EPROM, SRAM 读写、状态控制逻辑。

对于波形数据输出, 尤其是用于数据率提升的高速数据切换开关阵列部分的时钟分配和控制逻辑则采用 ECL 逻辑

器件综合实现(其逻辑如图2所示)。数据切换开关阵列及 D/A 的数据信号也是 ECL 电平。ECL 器件足够小的传输延迟保证了系统能在高速时钟下工作。低速 TTL 器件与高速 ECL 器件间的数字信号或控制信号之间采用专门的 ECL/TTL (E/T), TTL/ECL 电平转换器件进行电平匹配转换。ECL 逻辑器件采用具有电压和温度双重补偿的 SY100E 系列产品。

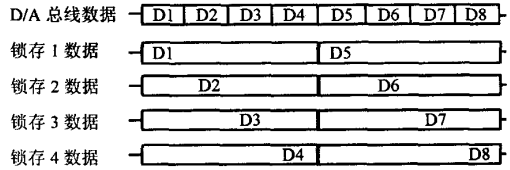


图2 DAC 总线数据与 SRAM 输出数据的关系

#### 4.2 带通滤波器设计

抗镜像带通滤波器一方面可以抑制搬移到时钟频率及其谐波位置的残余信号频谱, 另一方面消除了时域波形中的台阶和毛刺, 对杂散有相当的抑制作用, 因此它是该数字波形产生系统的重要组成部分, 也是最关键的一个环节, 其性能的好坏将直接影响输出信号的频谱质量。由于直接数字波形合成 (DDWS) 系统工作于过采样方式, 所以对滤波器的过渡带衰减特性要求本不应太高, 但因为系统对谐波杂散的要求极高, DDWS 的输出必须通过此带通滤波器来保证 60dB 左右的信杂比, 若过渡带太宽, 其输出则会出现杂散台阶; 该滤波器的设计可结合试验, 进行适当选择调整, 以期获得较好的效果。

#### 4.3 倍频与匹配

为了使输出信号带宽最终达到 66.7MHz, 200MHz 两种带宽指标要求, 系统必须采用倍频技术。电路实现时需要输入信号功率电平满足倍频器件要求的范围并保证与前后相连的电路具有良好的匹配, 才能获得较好的倍频输出信号。当然输出信号中同时也会包含高次谐波及输入信号的馈通, 因此为了选出有用信号还必须依靠带通滤波器。电路的匹配是本系统成功与否的关键技术。通过实践反复调试知, 通过在倍频器的输入和输出端加入由电阻、电感和电容等组成的无源网络并反复调整其参数, 能够起到良好的匹配效果, 有效地校正了幅度和相位的失真, 保证了倍频输出信号的质量。

### 5 系统测试与分析

#### 5.1 窄带模式(中心频率 1200MHz, 带宽 66.7MHz)

16 倍频链输出的窄带 LFM 信号(中心频率 1200MHz, 带宽 66.7MHz)频谱及时域波形如图3所示。脉冲压缩处理后(Hamming 加权)的结果如图4所示。

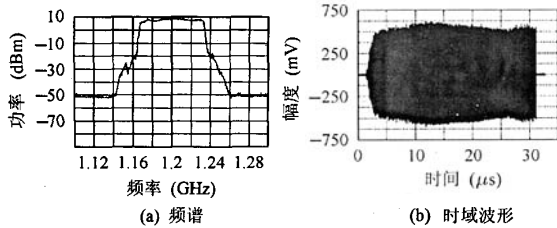


图 3 倍频链输出窄带 LFM 信号时、频域分析

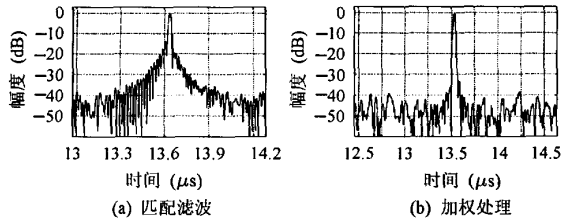


图 4 脉冲压缩处理结果

5.2 宽带模式(中心频率 1200MHz, 带宽 200MHz)

16 倍频链输出的宽带 LFM 信号(中心频率 1200MHz, 带宽 200MHz) 频谱及时域波形如图 5 所示。脉冲压缩处理后(Hamming 加权)的结果如图 6 所示。

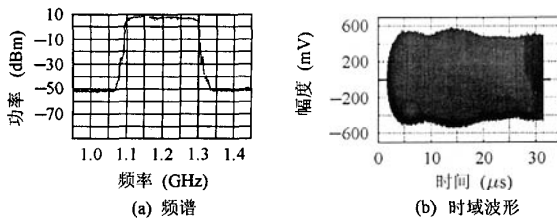


图 5 倍频链输出宽带 LFM 信号时、频域分析

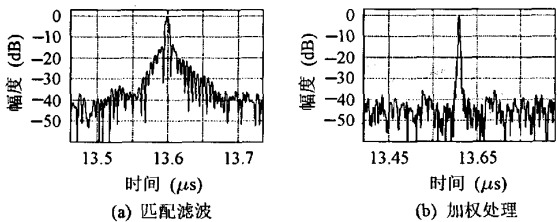


图 6 脉冲压缩处理结果

经过倍频链后输出信号的中心频率和带宽分别达到了 1200MHz 和 200MHz (66.7MHz), 带外谐波和杂散抑制均低于 -55dB。但同时倍频后的信号质量出现了劣化, 主要表现在 3 个方面: 带内起伏、噪声台阶和脉冲压缩性能。这些主要是由于系统实现过程中引入了倍频、滤波、增益补偿等诸多环节, 势必会造成纹波起伏, 相位劣化等失真。虽然是不可避免的, 但可以通过反复调整来减小其影响。

6 小结

本文介绍了中频 1200MHz, 带宽分别为 200MHz 和 66.7MHz, 宽带双分辨 LFM 信号产生实验系统的设计方案与实现技术。测试结果表明, 由直接中频信号产生器输出的 75MHz 中频, 12.5MHz 和 4.1625MHz 两种带宽 LFM 信号分别通过 4 次二倍频链产生的 1200MHz 中频, 200MHz 和 66.7MHz 带宽信号获得了如下指标: 输出信号带外谐波、杂散优于 -55dB, 带内起伏小于 2dB, 脉冲压缩主副比达到 30dB 以上, 达到了实用系统的设计要求。

总之, 已完成的双分辨宽带 LFM 信号产生系统样机为开展宽带、超宽带信号产生研究提供了许多宝贵的经验和有益的探索, 为今后的进一步完善和发展打下了坚实的基础。

参考文献

[1] 李衍忠. 超宽带脉冲压缩雷达信号产生系统研究. [博士论文], 成都: 电子科技大学, 2000: 3-91.

[2] 费元春等编著. 宽带雷达信号产生技术. 北京: 国防工业出版社, 2002: 28-132.

夏铁骑: 男, 1978 年生, 博士生, 现从事雷达波形产生、雷达回波信号时延估计等研究工作。

姬强: 男, 1973 年生, 博士, 现从事雷达波形产生、高速信号处理等研究工作。

向敬成: 男, 1938 年生, 教授, 博士生导师, 现从事雷达波形产生、实时处理、软件无线电等研究工作。