

文章编号: 1008- 8652(2003)04- 025- 06

# \* AD 9857 在某雷达视频模拟器中的应用

岳 三 创

(西安电子工程研究所 西安 710100)

**【摘要】** 介绍 DDS 数字正交上变频器 AD 9857 结构、原理、功能, 并给出其在雷达视频航迹模拟器中的应用。

关键词: DDS; DSP

中图分类号: TN 955

文献标识码: A

## Application of AD 9857 in A Radar Video Signal Simulator

Yue Sanchuang

(Xi'an Electronic Engineering Research Institute, Xi'an 710100)

**Abstract** This paper introduces the configuration, principle and functions of quadrature digital upconverter AD 9857 and presents its application in a radar video signal processor.

**Keywords** DDS; DSP

目前, 正交调制技术已广泛应用于雷达、导航、仪器仪表等领域。与传统的锁相环(PLL)相比, DDS 具有频率分辨率高、频率变化速度快、相位线性变化、易于数字控制等优点。为了实现向某雷达信号处理器的 AD 提供正交 I/Q 视频信号, 采用 Analog 公司的 DDS AD 9857。

## 1 AD 9857 的结构和工作原理

### 1.1 内部结构

AD 9857 的内部结构如图 1 所示。主要包括输入数据组合、CIC 与反 CIC 滤波器、固定插值滤波器、正交调制器、DDS 核心、反 SNC 滤波器、输出幅度倍乘器、14 位 DAC。

#### 输入数据转换

在正交调制模式下, AD 9857 要将 14 位并行交替输入的 I/Q 路的基带数字信号分量分离, PDCLK 的频率是 I(或 Q) 频率的 2 倍。

#### CIC 与反 CIC 滤波器

CIC (内插级联积分梳状滤波器) 为嵌入式的可编程低通滤波器, 由 6 位控制字组成, 为 2 ~ 63 倍的过采样率。

由于 CIC 具有低通特性, 所以在其前端有一个反 CIC 滤波器来对此加以补偿。

\* 收稿日期: 2002- 09- 25

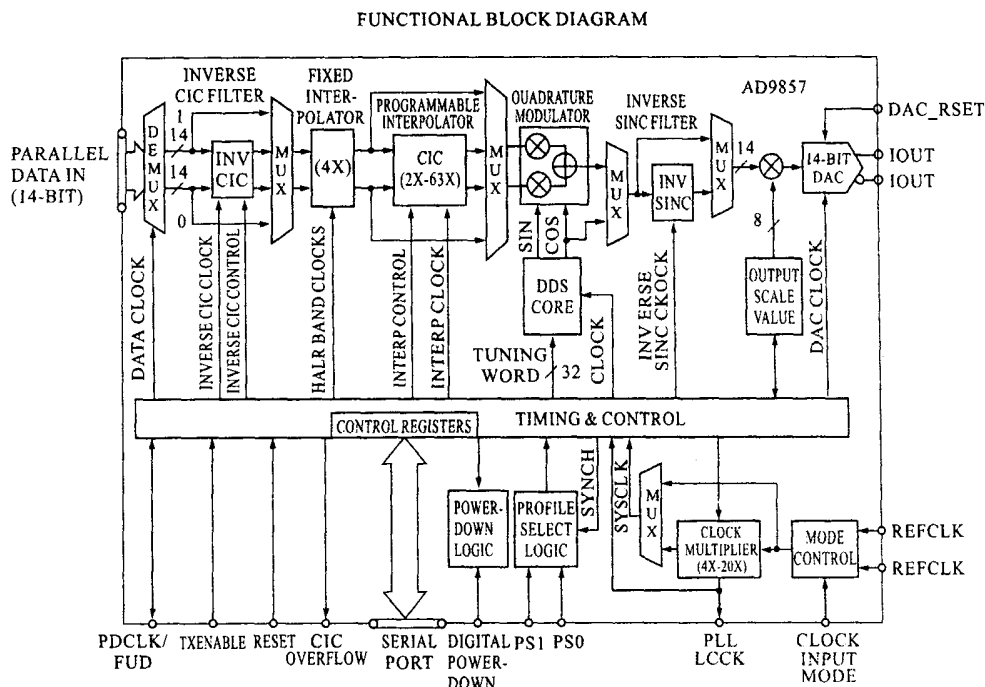


图 1 AD9857 内部结构

### 正交调制器

用于将基带信号调制到所期望的载频上,DDS 产生调制所需的正余弦两路数字载波,其频率可由相应的频率控制字确定,由内部参考时钟产生所期望的高稳定的载波。由于采用数字式调制,从而消除了由模拟调制所引起的相位、增益的失衡和交调失真。

### DDS 核心

用于产生  $\sin/\cos$  载波参考信号,通过 32 位频率控制字来确定,载波的频率( $f_{OUT}$ )与频率控制字(FTWORD)和系统时钟的关系为  $f_{OUT} = (FTWORD \times SYSCLK) / 2^{32}$ , FTWORD 的范围为  $0 \sim (2^{31} - 1)$ 。

### 反 SINC 滤波器

由于模数转换的信号固有零阶效应,其输出频谱被  $\sin(x)/x$  加权。反 SINC 滤波器对输入数据进行预处理,以抵消由 SINC 包络造成的失真。

### 输出幅度倍乘器

通过对倍乘器的内部控制寄存器进行编程,来调整输出信号的幅度,其幅度倍乘范围为  $0 \sim (2^7 - 2^{-7})$ 。

### 14 位的模数转换器

用于将数字信号转换成模拟信号,在转换过程中会在  $n \times SYSCLK \pm FCARR IER$  ( $n = 1, 2, 3$ ) 产生干扰信号,须外接一个 RLC 滤波器来加以消除。

### 参考时钟倍乘器

要提供高质量的频率范围在  $100\text{MHz} \sim 200\text{MHz}$  的晶振比较困难,AD9857 内部有倍乘器,可以将低频时钟输入倍乘到高频。

## 1.2 工作原理

为了产生正交调制信号,AD9857 的输入数据必须为 14 位并行 I/Q 两路交替输入。数字信号经过编码、插值、脉冲整形等过程后,才将 I/Q 信号分为两路信号通过正交调制器 AD9857。

AD9857 内的系统时钟 SYSCLK 提供了其内部的所有时序。CLK 输出的 I/Q 数据的采样率与 DDS 数字载波的采样率相同,调制后的信号实际是一组采样率为 SYSCLK 的数据流。

## 1.3 工作模式

AD9857 具有三种工作模式:正交调制模式、单频输出模式和内插 DAC 模式。当工作于正交调制模式时,DDS 核心提供一个正交的本振信号到正交调制器上,分别有 I/Q 数据相乘、相加产生一个正交的数据流,经过 14 位的 DAC 输出成正交调制的模拟信号;当工作在单频输出模式下,AD9857 相当一个频率源,其内部的 DDS 核心在频率控制字的控制下产生一个单频信号,经过反 SNC 滤波器和幅度控制器后加到 14 位的 DAC 上输出;当工作在内插 DAC 模式下,14 位数据输出后仍是基带信号,对信号进行过采样操作并保持原来信号频谱不变。

## 1.4 AD9857 的特点

200MHz 的内部时钟

14 位数据总线

极好的动态特性 80dB SFDR @ 65MHz ( $\pm 100\text{kHz}$ ) 模拟输出

4~20 倍 PLL 可编程参考时钟

内置 32 位正交 DDS

FSK 兼容

8 位输出幅度控制

单端掉电功能

4 个可编程的通过引脚可选的信号模式

反 SNC 滤波器

简单的控制接口: 10MHz 串行, 2 线或 3 线 SPI 兼容

3.3V 供电

单端或差分输入的参考时钟

80 管脚的 LQFP 表贴封装

## 2 AD9857 在视频模拟器中的应用

### 2.1 视频航迹模拟器的功能描述

视频航迹模拟器是为某雷达信号处理机的调试和验收提供手段的,根据需要可将单路模拟航迹直接以正交 I/Q 两路形式送到 A/D 的入口,以便于在调试、交验过程中检查雷达信处、显示、跟踪能力,给雷达整机的检查、调试和最后的交验带来方便。

视频航迹模拟器与外设的接口关系见图 2。

为了完成检测各部分工作状态及各种处理、控制显示功能及雷达整机,该模拟器主要具有以下功能。

#### a 距离脉冲的产生

为完成对信号处理机的动态控制特性的调试, 以及目标距离跟踪的调试, 模拟器需要产生运动的目标回波。

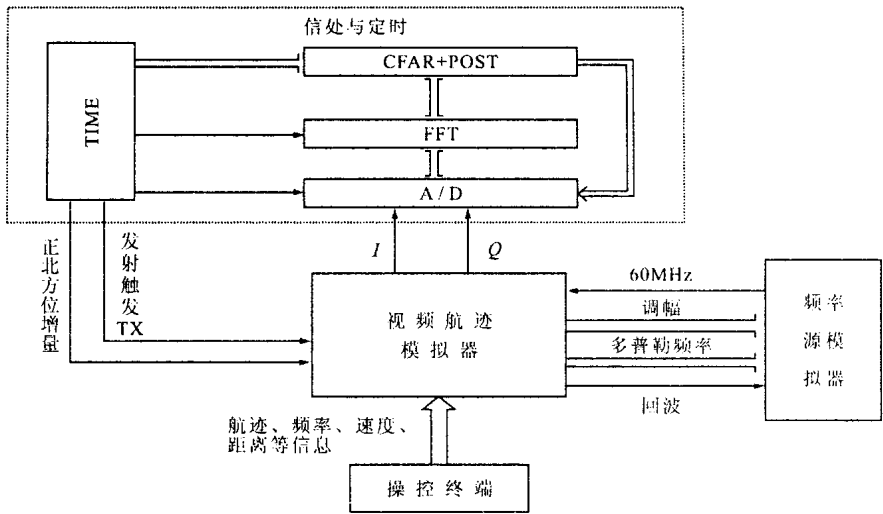


图 2 视频航迹模拟器的与外设的接口关系

目标的距离信息由相对于发射触发的延迟时间来体现, 假设目标的起始距离是  $R_0$ , 目标的速度为  $v(t)$ , 则目标在时刻  $t$  的距离为:

$$R = R_0 + v(t) \cdot t$$
$$R = 1/2 \cdot c \cdot \tau$$

$\tau$  是  $t$  时刻目标相对于发射触发的延时时间。所以通过给出相对于发射触发延时为  $\tau$  的脉冲来模拟目标的距离变化。

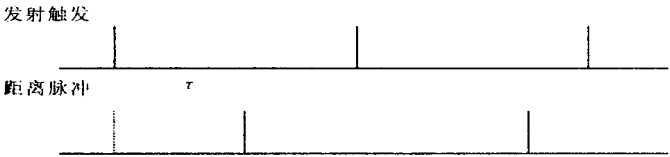


图 3 发射触发及距离脉冲

b. 多普勒频率的产生

目标的多普勒频率可以通过对 DDS AD9857 的控制而得到:

$$I(t) = u_i(t) \cos(\omega_d t + \varphi)$$
$$Q(t) = u_q(t) \sin(\omega_d t + \varphi)$$

其中  $u(t) = u_i(t) + j \cdot u_q(t)$  是脉冲信号的复包络,  $\omega_d$  是多普勒角频率。如果雷达对目标的采样位置是确定的, 那么可以分别计算出不同目标位置上经过多普勒频率调制的  $IQ$  两路信号的幅度, 在不同的触发时刻, 输出不同的信号幅度, 从而产生经过多普勒频率调制的正交视频信号。由于雷达定时系统对目标的采样具有随机性, 所以不易通过这种方法产生, 但是可以用 AD9857 脉冲调制产生调制信号, 其中调制信号的幅度可以通过调整输出幅度倍频器 (output scale multiplier) 来调整输出信号幅度; 其频率为  $\omega_f + \omega_d$ , 其中  $\omega_f$  为相参本振的频率,

$\omega_t$  为目标的多普勒频率,  $f_d = 2v \cos \varphi / \lambda$ ,  $\varphi$  为雷达主波束和目标运动方向上的夹角。当目标远离雷达时, 接收的频率  $f_{out} = f_{if} - f_d$ ; 当目标接近雷达时, 接收的频率  $f_{out} = f_{if} + f_d$ 。其中调制信号的频率调整可以通过频率调整字 FTW (frequency tuning word) 来控制, 具体的公式是  $f_{out} = (\text{SYSCLK} \times \text{FTW}) / 2^{32}$ , FTW 从  $(0 \sim 2^{31} - 1)$ 。

## 2.2 视频航迹模拟器的实现

### 2.2.1 电路设计

以 AD9857 为核心产生 I/Q 视频信号的电路原理框图如图 4 所示。主要由高速数字信号处理器 TMS320VC33、AD9857、EPROM、时钟产生电路、带通滤波器、放大器、分频器等组成。

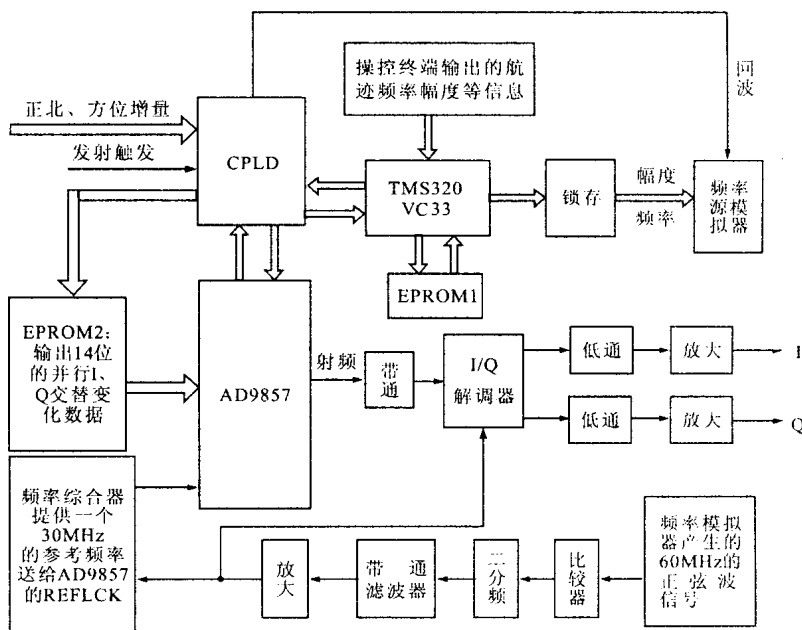


图4 视频模拟器 I/Q 产生原理图

2.2.1.1 正交 I/Q 数据产生部分: 用 AD9857 的输出管脚 PDCLK 作为地址产生信号在 CPLD 中为 EPROM 2 提供地址信号, I/Q 两路数据交替的存储于 EPROM 2 中。

2.2.1.2 AD9857 工作在正交调制模式下, 频率源模拟器输出 60MHz 的正弦波经过比较、放大、分频等处理后, 输出作为 AD9857 的参考时钟以及为 I/Q 解调器提供参考时钟;

2.2.1.3 发射触发信号为 DSP 提供中断源, 在中断服务程序中接收外部输入的频率幅度信息后, 将其发送至 AD9857, 产生连续的射频信号; 由于采用参考时钟的倍乘器的因子为 1, 射频信号要解调所需要的 30MHz 本振信号。解调出来的信号经过低通、放大产生 I/Q 两路的正交视频信号。

2.2.1.4 距离脉冲产生器的实现: 接收到航迹开始命令后启动 CPLD 中的时间计数器, 当接收到发射触发信号后, 读取时间计数器的值, 结合目标的速度值通过 DSP 计算出当前的目标距离, 转换成脉冲延时, 写入距离计数器, 由计数器产生距离脉冲。

### 2.3 软件设计

AD9857 的串口具有易适应性、同步性好的特点, 可以与许多微控制器和处理器接口通

讯, 通过修改相应寄存器的内容来达到对输出正交信号的控制。视频模拟器软件设计以某雷达的定时信号响应中断服务子程序为主体, 根据目标的航迹, 将中断服务程序转到各功能子程序中。通过接收外部进来的目标的频率幅度延时等信息, 在 DSP 中分别进行计算, 确定相应目标航迹的频率幅度值, 通过 DSP 控制 AD9857 的频率控制字、幅度倍乘器寄存器, 产生视频信号, 根据目标距离方位速度信息来产生目标回波, 为雷达交验提供方便, 其程序流程图见图 5。

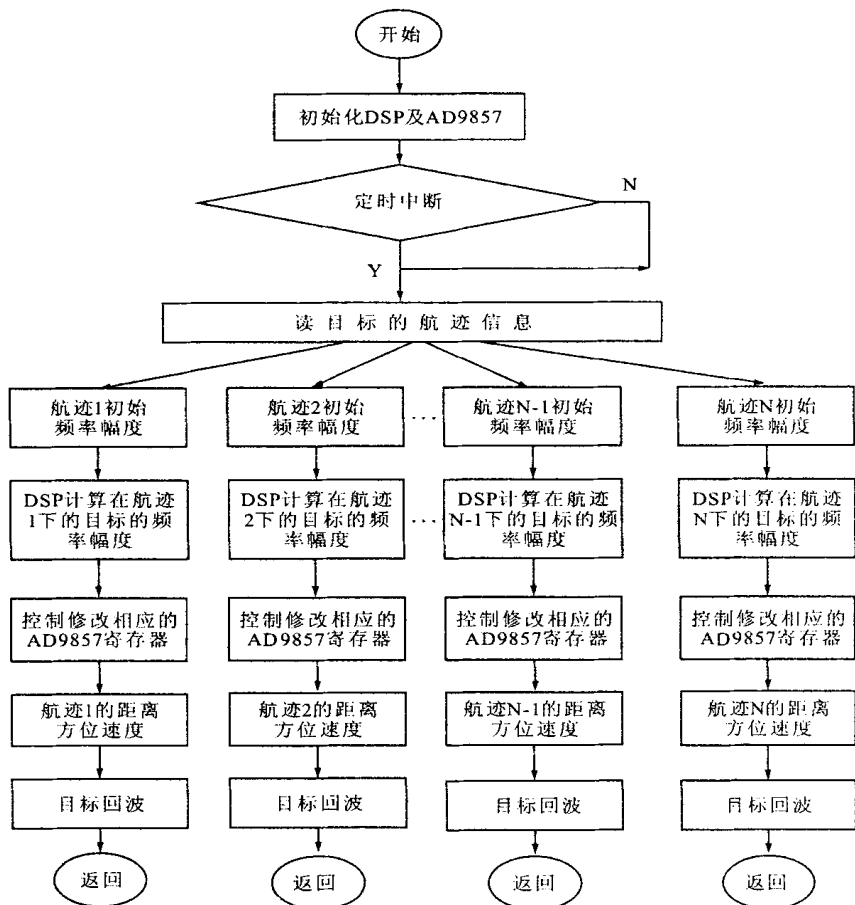


图 5 程序流程

## 2.4 电磁兼容方面的考虑

由于采用 Ti 的 DSP TM S320VC33 以及 AD9857 等器件, 本模拟器采用五层电路板, 其中两层电源、一层地, 走线尽量短。为了使电路具有较好的电磁兼容性, 数字电源与模拟电源分别供电, 数字地与模拟地分开设计。通过对直流电源滤波, 来减少直流电源的串扰。

## 参 考 文 献

- [1] CMOS 200M SPS 14- Bit Quadrature Digital Upconverter[M]. Analog Devices, Inc, 2000
- [2] AN 237 Application Note Choose for DACs for Direct Digital Synthesis[M]. Analog Devices, Inc, 2000