

基于单片机和 LMX2485 的微波信号源发生器的设计

袁三男,王绍徐

(上海电力学院 计算机与信息工程学院,上海 200090)

摘要: 介绍了一种用单片机控制的智能微波信号源发生器,以美国国家半导体公司的低功率、高性能的 δ - Σ 小数分频数字锁相环电路 LMX2485 和 YTO 为核心构成。微波信号源的工作频率范围为 8~14 GHz,频率分辨率为 40 Hz。分析了设计方案及实现过程中的关键技术,给出了部分实验结果。

关键词: 数字锁相环;信号源发生器;微控制器;LMX2485

中图分类号: TM935

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2010)19-0092-03

Design of microwave signal generator based on MCU and LMX2485

YUAN San Nan, WANG Shao Xu

(Department of C.S. & INFO, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: This paper describes a kind of intelligent microwave signal generator controlled by a microcontroller. Its nuclear parts are LMX2485 and YTO. LMX2485 is 50 MHz~3.0 GHz high performance delta-sigma fractional-N PLL frequency synthesizer produced by National Semiconductor. The operating frequency range of the generator is from 8 GHz to 14 GHz, and the frequency resolution is 40 Hz. The design method and key technologies are analyzed and realized. It also presents some experimental results.

Key words: digital PLL; signal generator; microcontroller; LMX2485

随着微波应用的发展,微波信号源在通信或仪器中得到了广泛的应用。信号源的合成技术按合成方法可分为直接合成和间接合成两种,按形式可分为直接式频率合成、锁相式频率合成和直接数字式频率合成^[1-3]。直接式频率合成的特点是频率转换时间短、输出相位噪声小、工作频率高,并能产生任意小的频率间隔;缺点是采用了大量倍频、分频、混频和选频滤波器,不仅体积重量大、成本高,而且输出纹波、噪声和寄生频率均难以抑制。锁相式频率合成主要采用数字锁相法,其主要优点是锁相环相当于一个窄带跟踪滤波器,具有良好的窄带跟踪滤波特性和抑制输入信号的寄生干扰的能力,避免了大量使用滤波器,有利于集成化和小型化。直接数字式频率合成的优点是分辨率高、容易做到极低的频率、控制灵活等,但它面临输出频率上限难以提高和寄生输出难以抑制两个难题。因此,对于微波、毫米波信号源的合成应主要采用数字锁相方式,并基于大规模专用集成芯片来设计。本文提出一种用单片机控制的智能微波信号源发生器,以美国国家半导体公司的低功耗、高性能的 δ - Σ 小数分频数字锁相环电路 LMX2485^[3]和 YTO

为核心,并通过单片机 C8051F120 控制。应用该电路产生 4~7 GHz 的频率源,再通过倍频器实现 8~14 GHz 应用所需的信号。应用这种方法实现的微波信号源发生器成本低、体积小、性能好,具有很高的实用价值。

1 LMX2485 功能介绍

LMX2485 是美国国家半导体公司的一款低功率、高性能的 δ - Σ 小数分频数字锁相环电路,其频率范围可达 50 MHz~3 GHz。采用全新 δ - Σ 结构,可以将其低频段的杂散和相位噪声推移到更高频段,从而使得电路所需频段的杂散和噪声更小^[4]。 δ - Σ 调制器可供四级选用,可以兼顾应用的不同需要,如对相位噪声、假信号抑制能力以及锁定时间的要求,确保系统可以充分发挥其性能。开发时只需加设极少低成本的外置元件,有助于缩短设计时间,减低系统成本。其工作原理如图 1 所示,输出频率 f_0 经小数分频($\div N.F$)后得到参考频率 f_1 ,鉴相器通过比较 f_1 和参考频率的相位,控制输出鉴相电流或电压,通过低通滤波后控制压控振荡器改变输出频率,最终达到两者相位相同即锁定,由此得到 $f_0/N.F=f_1=f_{ref}$,即输出频率,如式(1)所示。通过单片机控制 $N.F$,就可以

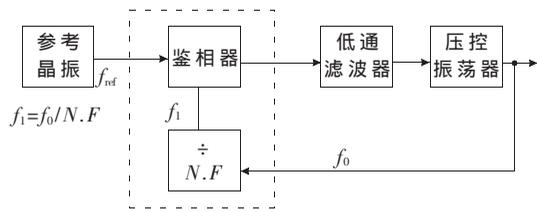


图1 小数分频数字锁相环原理框图

得到用户需要使用的频率。

$$f_0 = f_{ref} \times N.F \quad (1)$$

2 系统方案设计

系统设计要求信号源产生 8~14 GHz 的微波源, 频率分辨率为 100 Hz。采用 LMX2485 小数分频数字锁相环, 外置调谐振荡器采用 YTO(YIG 调谐振荡器), YTO 具有很宽的频率调谐范围、良好的调谐线性、低相噪、温度特性好、失谐隔离高、调谐速度快, 因此得到广泛运用。系统总体方案如图 2 所示。其中 LMX2485 PLL 的设置及 YTO 的电压偏置控制由单片机进行, ADC7545 用于控制 YTO 的预调电压即主线圈电压, 环路滤波器输出控制 YTO 的副线圈电压。

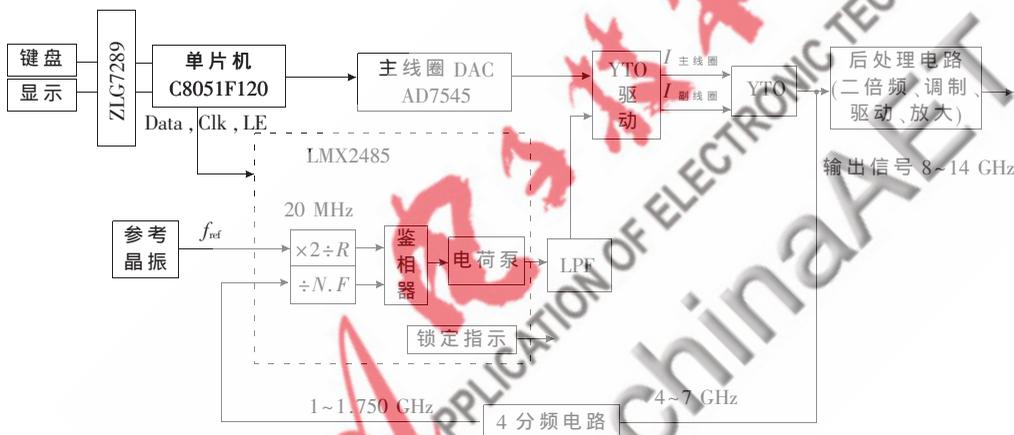


图2 8~14 GHz 微波信号源发生器原理图

2.1 分频器设计

LMX2485 内部设有 22 位的分数模数寄存器, 程序分频寄存器有: RF_N(10:0) 表示 $N.F$ 的整数部分, RF_FN(21:0) 表示 $N.F$ 小数部分的分子, RF_FD(21:0) 表示 $N.F$ 小数部分的分子, RF_FD(21:0) 表示 $N.F$ 小数部分的分母, RF_R(5:0) 为参考分频器。对于本例信号源发生器, 要求输出频率为 8~14 GHz, 频率分辨率为 100 Hz。采用 4~7 GHz YTO, 在输出级加上 2 倍频电路, 环路中加入 HMC433 四分频电路。系统采用高精度温补

10 MHz 晶振, 片内使用倍频控制, RF_R 固定为 1, RF_FD 固定为 4 000 000, 则按照式(1), 本信号源输出频率为式(2), 公式中乘以 8 是由于环路中增加了四分频电路和最终输出端增加了倍频器。当 RF_N=50, RF_FN=0 时, 锁相环频率为 1 GHz, 系统输出频率为 8 GHz。当 RF_N=87, RF_FN=2 000 000 时, 锁相环频率为 1 750 MHz, 系统输出频率为 14 GHz。本方案的系统分辨率为 20 MHz/4 000 000×8=40 Hz, 满足应用要求。RF_N 的选择范围为 50~87, RF_FN 的选择范围为 0~3 999 999。单片机配置 LMX2485 采用 IO 控制, 其配置时序如图 3 所示。

$$f_0 = 10 \times 2 / \text{RF_R} \times (\text{RF_N} + \text{RF_FN} / \text{RF_FD}) \times 4 \times 2 \text{ (MHz)} \\ = 10 \times 2 \times (\text{RF_N} + \text{RF_FN} / 4\,000\,000) \times 4 \times 2 \text{ (MHz)} \quad (2)$$

2.2 数字鉴相器

鉴相器集成在 LMX2485 芯片内部, 采用小数分频, 最大鉴相频率限于 50 MHz, 实际使用 20 MHz。设计鉴相频率需要折中考虑, 如果鉴相频率太高, 虽然相位噪声可以降低, 但锁定时间会延长很大, 同时频率分辨率性能降低。鉴相器电路后是充电泵, 其输出为高阻电流, 经过外置滤波电路输出频率控制信号, 再经过 YTO 驱动电路驱动 YTO 产生所需频率。芯片内有一数字锁定检测电路和检测算法, 当检测到环路锁定时, 输出锁定指示为 1。

2.3 YTO 及驱动

YTO 由于具有比 VCO 更好的性能因此在微波仪器中得到广泛的应用。YTO 内部具有主副线圈, 相应地外部需要主线圈驱动电路和副线圈驱动电路, 主线圈引起频率的大范围变化, 副线圈带动频率的微小变化, 从而获得更好的性能。主线圈驱动电路的控制电压由单片机按式(3)计算出相应的电压, 再通过 DAC7545 进行设置, 式中 $k \cdot f_0$ 是常量, 由 YTO 特性确定。

$$f = kV + f_0 \quad (3)$$

YTO 的副线圈是为了 YTO 输出频率的微小变动, 因此副线圈控制电压由鉴相器输出的两路频率相位差值再通过环路滤波后的电压来控制, 从而达到输出信号

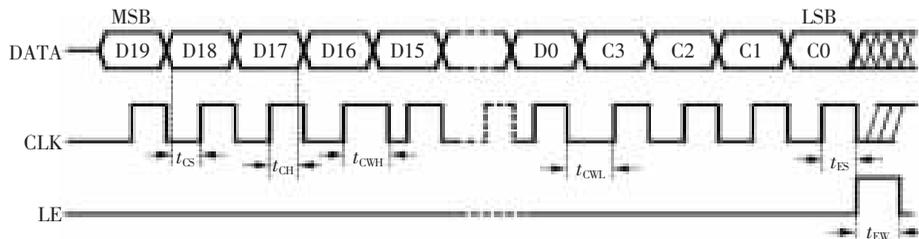


图3 LMX2485 配置时序图

源的频率和参考晶振频率有固定的相位关系,也即使得锁相环锁定在固定的频率上。

3 硬件设计

信号源发生器硬件系统主要包括单片机控制系统和锁相环系统两部分。

3.1 单片机控制系统

单片机主要实现人机接口和锁相环控制,采用 C8051F120,其内核为 100 MIPS 的 8051 微控制器。通过 SPI 接口和人机接口芯片 ZLG7289 获得输入的频率值,按照该频率值计算锁相环 LMX2485 对应的寄存器值,然后使用 IO 管脚按照图 3 所示时序进行 LMX2485 的三线配置,LMX2485 自动进行锁相跟踪,最终锁定于设置的频率值。频率值及锁定结果通过 ZLG7289 显示。

单片机针对输入的频率值计算 YTO 主线圈对应的控制电压,通过 D/A 芯片 AD7545 输出。AD7545 是 12 bit 分辨率的单电压控制 CMOS 数模转换芯片,参考电压设为 12 V,单片机通过并行接口即可方便地进行控制。YTO 副线圈电压由锁相环的环路输出控制来实现。

人机交互电路主要实现信息的输入、数据显示及警示作用,采用 ZLG7289 实现,其内部包含数码管显示驱动及键盘扫描管理电路,可直接驱动 8 位共阴式数码管或 64 个独立 LED,同时还可以扫描管理多达 64 个按键,采用 SPI 串行总线与单片机接口。本系统频率最大为 14 GHz,因此采用两个 ZLG7289 并接实现。

3.2 锁相环电路

锁相环、四分频等部分电路如图 4 所示,LMX2485 通过三线和单片机相连,参考频率由高稳温补晶振提供。YTO 输出频率通过四分频电路 HMC433 进行四分频后进入 LMX2485 的射频输入。两路信号通过内部鉴相器鉴相,充电泵输出后,再通过外部环路低通滤波器和运算放大器 OP07 去控制 YTO 小线圈驱动。

具体实现时,由于工作频率较高,电路板需要四层以上。

4 软件设计

本系统软件主要接收信号源发生频率的输入,经单

片机计算后配置 LMX2485 小数分频数字锁相环电路和 YTO 主线圈驱动电压的 D/A 控制,然后经过锁相环电路的跟踪锁定,使得 YTO 输出需要的频率。其软件框图如图 5 所示。

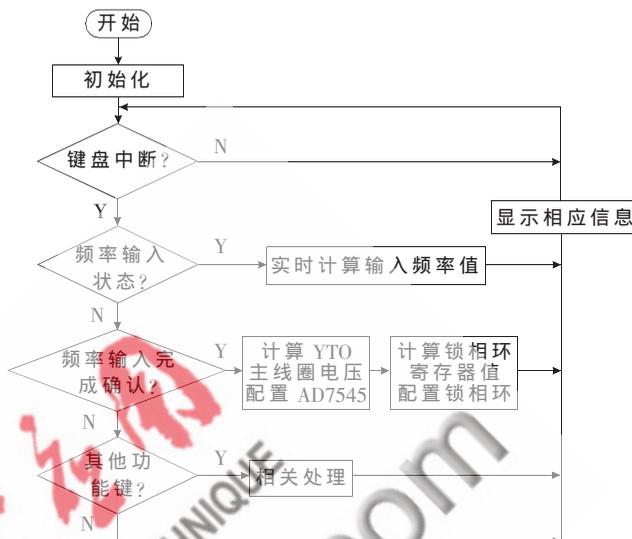


图 5 信号源发生器软件框图

系统输出频谱如图 6(a)所示,当采用四层电路板设计,并且调整相关放大器输入、输出匹配等问题后,效果更好,如图 6(b)所示。

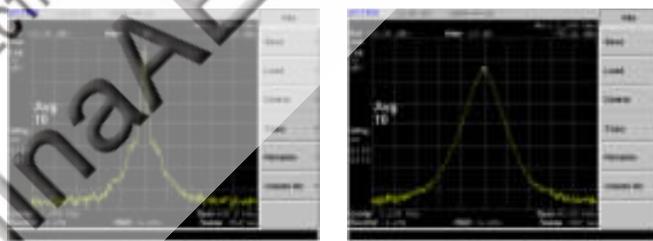


图 6 信号源发生器输出信号频谱图

本文介绍的微波信号源发生器,使用单片机控制低功率、高性能的 δ - Σ 小数分频数字锁相环和相应的驱动电路来控制调谐振荡器(YTO)的输出,用这种技术实现的信号源发生器可以带来频率准确度和稳定度高、误差小、操作控制方便等优点,因此具有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 余海涛.基于 MAX038 的智能固态扫频式微波信号源的设计 [J]. 半导体技术, 2003(3):70-73.
- [2] 孙悦,尹成群,黄怡然.基于 ML2035 低频正弦信号发生器的设计 [J]. 现代电子技术, 2008(21):106-108.

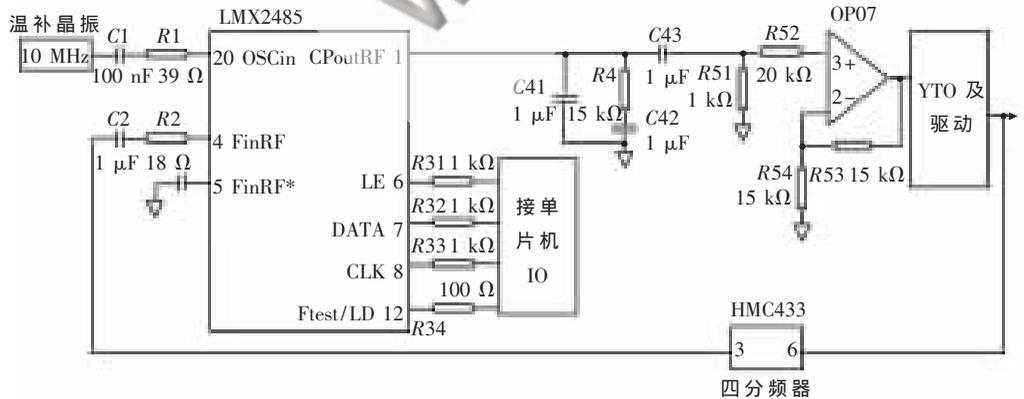


图 4 锁相环部分电路

- [3] LMX2485/LMX2485E 50MHz-3.0GHz High Performance Delta-Sigma Low Power Dual PLLatinum™ Frequency Synthesizers with 800 MHz Integer PLL,[EB/OL]. [2006-2]. <http://www.national.com/ds/LM/LMX2485.pdf>.
- [4] 周井泉,程景清.基于 $\Sigma-\Delta$ 调制的频率合成器及性能.

南京邮电学院学报,1997(3):105-111.

(收稿日期:2010-04-10)

作者简介:

袁三男,男,1967年生,博士,副教授,主要研究方向:嵌入式系统,电力通信等。

