

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.06.025

数字鉴频技术在电台检测设备中的应用

夏明飞¹, 夏明旗²

(1. 军械技术研究所 电子室, 石家庄 050005; 2. 总装备部北京军代局驻 447 厂军代室, 内蒙古 包头 014033)

摘要: 针对电台检测的测试需求, 简述了传统的模拟鉴频技术, 重点分析脉冲滤波法和微分鉴频法的数字鉴频技术, 并对 2 种方法进行仿真运算和算法性能比较, 给出了适合于手持式低功耗的电台检测设备的数字鉴频方法。仿真结果表明, 该设计不仅能避免模拟电路的一致性和稳定性, 而且可利用统一的音频信号处理硬件平台, 提高系统设计集成度。

关键词: FM; 数字鉴频; 通信测试

中图分类号: TP216 **文献标志码:** A

Application of Digital Frequency-Detecting Technology in the Radio Tester

Xia Mingfei¹, Xia Mingqi²

(1. Electronic Lab, Ordnance Technology Research Institute, Shijiazhuang 050005, China;

2. General Armament Department Beijing Military Representatives Bureau in 447 Factory, Baotou 014033, China)

Abstract: In order to meet the measurement demand of the radio, this paper briefly describes the traditional analog frequency-detecting technology, and analyzes the pulse filter method and differential frequency-detecting method in detail. Both of the methods were simulated and compared. Finally the method was given to suit for the portable and low power radio tester. The simulation result proved that this design can avoid the analog circuit's stability and consistence. When we make use of audio signal processing hardware platform, this design can improve the integration of the system design also.

Keywords: FM; digital frequency-detecting; communications testing

0 引言

调频通信系统既具有良好的通话性能又具有较好的抗干扰能力, 在军事通信领域占有重要地位。调频信号的解调技术(也称为鉴频技术)经过数十年的发展, 已达到相当成熟的程度, 派生出了多种调频解调方法。单片解调电路已有工业化成品, 在军用和民用通信领域得到了广泛应用。

电台快速检测设备是电台技术保障的一种技术手段, 手持式和综合化特性明显。由于采用电池供电的电台快速检测设备的测试功能多, 所以在设计电台快速检测设备时必须采取小型化设计技术和低功耗节能设计技术, 以达到手持式和综合化的设计目的。因此, 笔者采用数字化解调技术进行电台检测设备设计, 以满足其手持式和低功耗的需求。

1 鉴频技术概述

FM 信号的特征是: 已调信号的输出不变幅度, 已调载波的瞬时频率随调制信号而变化。设调制信号为 $x(t)$, 则调频信号 $y(t)$ 为:

$$y(t) = A \sin(2\pi f_c t + K \int_0^t x(\tau) d\tau) \quad (1)$$

式中, K 与调频系数有关。典型的单频调制的 FM 信号频谱如图 1。

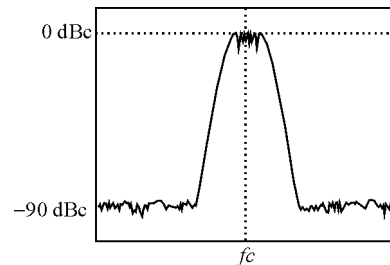


图 1 调频信号频偏

恢复 FM 信号中的调制信号 $x(t)$ 所采用的 FM 解调技术称为鉴频技术, 完成 FM 信号的解调电路统称为鉴频器。传统模拟方式的鉴频技术有谐振回路法(非相干解调)、锁相环法(相干解调)、脉冲滤波法(数字式非相干解调)等, 并在广播通信领域得到广泛应用。数字方式的鉴频技术也发展了很多种方法, 大致可分为相干解调和非相干解调 2 类。数字鉴频技术需要充分利用数字处理的优势, 将高载波的 FM 信号进行下变频处理, 在低中频上实现性能优异的数字鉴频算法。在以下叙述的调频信号, 是指经过下变频处理后的低中频调频信号。

收稿日期: 2011-02-23; 修回日期: 2011-04-14

作者简介: 夏明飞(1976—), 男, 吉林人, 博士, 工程师, 从事电子装备性能测试与故障诊断研究。

2 数字鉴频算法研究

2.1 脉冲滤波法

脉冲滤波鉴频原理是利用周期脉冲信号的低频能量来分辨信号的频率。图 2 为周期脉冲信号的时域波形。对应的傅里叶级数见式 (2)。

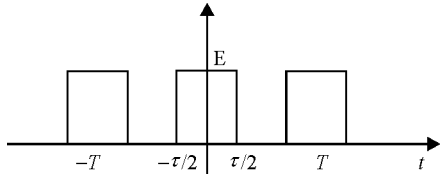


图 2 周期脉冲信号 $y(t)$

$$y(t) = \frac{E\tau}{T} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2E}{n\pi} \sin\left(\frac{n\pi\tau}{T}\right) \cos\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) \quad (2)$$

式 (2) 的第一项代表了一个周期内的平均幅度。如果脉冲信号的幅度 E 保持不变, 而周期 T 发生变化, 则第一项所代表的低频分量与周期信号的频率成正比。所以, 如果把调频信号整形成等脉宽的脉冲序列, 检测 $y(t)$ 的低频成分就能实现鉴频。

脉冲滤波法的模拟电路较简单, 只需要对调频信号进行限幅放大和脉冲成形, 然后低通滤波即可。缺点是鉴频动态范围和信噪比互为矛盾, 比较适用于对信噪比要求不高的场合。

采用数字方式实现脉冲滤波法, 方法与模拟方式类似。首先对调频信号进行限幅放大和方波成型, 然后输入到数字电路进行沿检测, 生成恒脉宽的数字脉冲序列, 最后进行数字低通滤波, 输出鉴频结果。流程示意图见图 3。

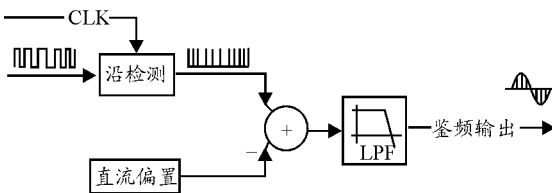


图 3 数字脉冲滤波鉴频流程示意图

采用数字脉冲滤波鉴频法, 需要注意以下 2 点:

- 1) 中频频率 f_c (即 $1/T$) 的选取要兼顾系统设计与调制频偏选择, 原则是不产生频谱混迭。
- 2) 脉冲检测的时钟 CLK 速率 f_{CLK} 与 f_c 的比值越大, 鉴频输出的信噪比越好, 但同时数字低通滤波器的截止频率点越低, 这是一对矛盾。

采用数字脉冲滤波鉴频法, 可根据调制频偏选择合适的中频频率, 使频偏测量的动态范围更大。

2.2 微分处理法

首先对式 (1) 所示的 FM 信号求微分:

$$y(t) = \left(A \sin(2\pi f_c t + K \int_0^t x(\tau) d\tau) \right)' = (2\pi f_c + Kx(t)) \times \left(A \cos(2\pi f_c t + K \int_0^t x(\tau) d\tau) \right) \quad (3)$$

可见, FM 信号的微分函数是一个调幅调频信号, 其幅度包含了调制信号 $x(t)$ 。如果对 FM 的微分函数做数字调幅解调, 就可实现数字鉴频。

针对式 (3) 的调幅信号解调, 有 2 种简易的方法:

- 1) 对式 (3) 进行全波或半波整流处理, 然后低通滤波并隔直流, 即可得到鉴频输出。
- 2) 用式 (3) 稳幅整形产生一个的恒包络的方波信号, 与式 (2) 相乘, 再低通滤波, 并隔离直流得到鉴频输出。频谱搬移的示意图见图 4。

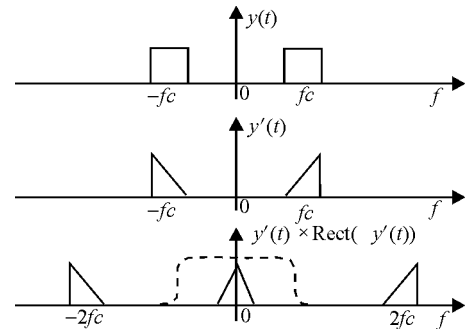


图 4 微分处理方法二的频谱搬移示意图

2 种调幅解调方法各有利弊, 前一种方法逻辑简单, 但低通滤波器的截止频率较低; 后一种方法多一级相干运算, 低通滤波器截止频率可高一些。这 2 种方法的输出信噪比都取决于微分运算和低通滤波器的性能。

数字电路中, 微分运算可采用微分滤波器来实现, 也可简单地用临近采样点差值实现微分。显然, 后者的误差取决于过采样速率。仿真结果表明, 过采样速率每提高 10 倍, 差值微分误差降低 40 dB。如果使用内插的方法提高采样速率比, 选用高速模数转换器 (ADC) 更经济。

3 算法性能比较

脉冲滤波法不需要数模转换器, 其性能取决于载波频率 f_c 、抽样频率 f_s 以及低通滤波器的设计。如前所述, 这几个参数的选择是互相矛盾的, 因此, 鉴频输出信号的信噪比和附加调制性能都很难做好。图 5 是采用脉冲滤波法的 10 kHz 音频调制 FM 信号解调仿真波形。图 5 中, 调制信号 $x(n)$ 是 10 kHz 单音信号; shaped FM 是经脉冲整形后的 FM 信号; FM 调制最大频偏 45 kHz, 载波频率 $f_c = 200$ kHz,

采样频率 $f_s = f_{clk} = 5 \text{ MHz}$, 低通滤波器为 128 阶 FIR 滤波器。

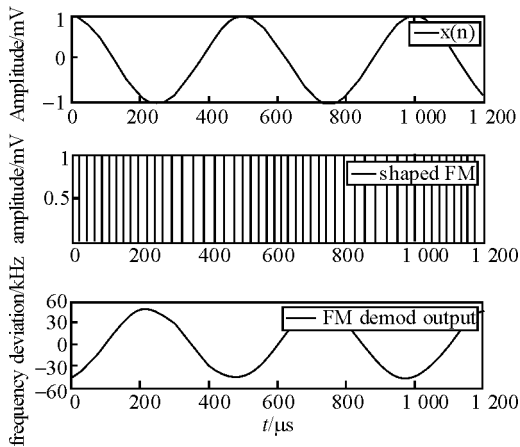


图 5 脉冲滤波法 FM 信号解调仿真波形

采用微分处理法实现鉴频时, 数字微分的性能影响鉴频信噪比。微分处理的精度需要尽可能高。微分处理过程如图 6。先对采样信号进行高分辨率的数字内插提高采样速率, 再做微分滤波, 最后做抽取恢复到原速率。因为微分运算会提升高频成分的能量, 所以图 6 中接了一个低通滤波器。

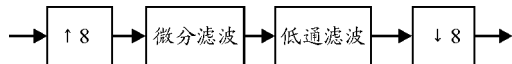


图 6 采用内插和抽取提高微分处理精度

微分处理法的仿真波形见图 7。图 7 中, FM signal 的中心频率为 100 kHz; 调制信号为 10 kHz 和 20 kHz 的合成信号, 最大频偏 45 kHz; 模数转换分辨率为 10 bit, 采样速率 500 kSPS, 内插和抽取的倍率为 8 和 1/8。

仿真结果表明, 采用微分处理法鉴频, 能得到比脉冲滤波法更好的信噪比、动态范围和线性度。

其缺点是比脉冲滤波法多一级 ADC, 且逻辑复杂度高得多。

综上所述, 微分处理法能得到比较高的鉴频信噪比, 比较适用于电台检测设备的设计。

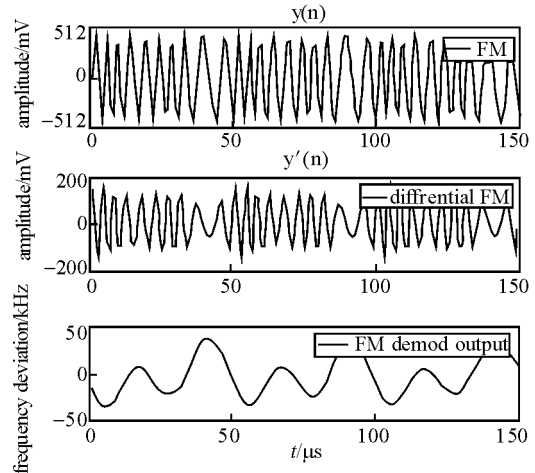


图 7 微分处理法 FM 信号解调仿真波形

4 总结

该设计既能避免模拟电路的一致性和稳定性, 又可利用统一的音频信号处理硬件平台, 提高了系统设计的集成度。

参考文献:

[1] 王敏建. 无线通信测量[M]. 南京: 东南大学出版社, 2001.

[2] 赵波, 付光远, 杨闯. 部分相干激光对无线光通信系统误码率的影响[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(10): 10.

[3] 杨小牛, 楼才义, 徐建良. 软件无线电原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.

[4] Jeffery H.Read. 软件无线电 - 无线电工程的现代方法[M]. 陈强, 等译. 北京: 人民邮电出版社, 2004.

(上接第 62 页)

5 结束语

目前, 在轨服务已成为航天高技术研究的主要热点, 得到了世界各国特别是航天大国的高度重视, 该研究对在轨服务的发展具有一定的推动作用。

参考文献:

[1] 陈小前, 姚雯, 杨维维. 在轨服务体系的研究与分析[J]. 863 航天航空技术, 2007(2): 1-16.

[2] 李岩. 在轨服务飞行器服务策略关键技术研究[D]. 装备指挥技术学院博士论文, 2009: 12.

[3] 李岩, 程龙. 构建空间在轨维护与服务系统的初步设想[J]. 导弹与航天运载技术, 2008(5): 31-34.

[4] 谭春林, 刘永健, 于登云. 在轨维护与服务体系研究[J]. 航天器工程, 2008, 17(3): 45-50.

[5] 朱彦伟, 杨乐平. 航天器在轨服务接近策略研究[J]. 中国空间科学技术, 2007(1): 14-20.

[6] 陈小前, 袁建平, 姚雯, 等. 航天器在轨服务技术[D]. 北京: 中国宇航出版社, 2009.

[7] 欧阳琦, 赵勇, 陈小前. 共面圆轨道航天器在轨服务任务规划[J]. 中国空间科学技术, 2010(1): 34-40.

[8] 崔乃刚, 王平, 郭继峰, 等. 空间在轨服务技术发展综述[J]. 宇航学报, 2007, 28(4): 805-811.