

新特器件应用

智能化数控调谐文氏电桥陷波器

朱 真, 陈金颖, 赵 宁

(东南大学 电子工程系, 江苏 南京 210096)

摘要:介绍文氏电桥陷波器及其在失真度测量中的应用,提出一种智能化数控调谐的文氏电桥陷波电路。该电路利用AD536型真有效值检波器对文氏电桥陷波后的残余信号进行检测并进行模-数转换,由单片机控制文氏电桥的分档电容器和数控电位器,实现谐振频率的智能调谐。

关 键 词:失真度; 智能调谐; 文氏电桥; 陷波滤波器

中图分类号: TN713.7 文献标识码: B 文章编号: 1006- 6977(2006)07- 0041- 04

Numerical control tuning Wien bridge trap filter

ZHU Zhen, CHEN Jin-ying, ZHAO Ning

(Department of Electronic Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract : The wien bridge trap filter and its application in the distortion measurement are introduced, the kind of intelligent numerical control tuning Wien bridge trap filter circuit is proposed. The circuit uses the true RMS- to- DC converter AD536 to detect the residual signal which traped by Wien bridge trap filter and converts it to digital signal. The range capacitance and digital potentiometers are controlled by singlechip, the intelligent tuning of resonance frequency is realized.

Key words : degree of distortion; intelligent tuning; Wien bridge; trap filter

1 引言

测量非线性失真一般采用基波抑制法(单音法),可通过基波抑制网络来实现。基波抑制网络即陷波滤波器,可将基波电压分量滤除。常见的有文氏电桥组成的RC陷波电路和双T形电桥组成的陷波电路。

高性能的失真度测量仪必须使用高性能的陷波器,它应能完全滤除基波而不衰减其他谐波。新式失真度测量仪产生的基波衰减或陷波深度可达100 dB甚至更大,而对谐波只产生1 dB或更小的衰减。要获得这样高的性能,需要Q值很高的滤波器,而且调谐必须非常准确,通常采用的手动调谐几乎无法实现。高性能的失真度测量仪可以自动调谐到基频,其偏差只有百分之几。失真度的测量主要是设计和选择高性能的陷波滤波电路。

文氏电桥陷波器是失真度仪设计中最常用的器件,其基波衰减深度一般可达80 dB以上,但是老式的失真度仪中往往使用手动调谐的方式。笔者在

原来的手动调谐文氏电桥陷波网络的基础上进行了改进,设计了智能化数控调谐文氏电桥陷波器。

2 文氏电桥陷波的原理

由文氏电桥组成的基波抑制电路(陷波器)如图1所示。电桥的元件参数关系为

$$R1=2R2, C1=C2=C, R3=R4=R$$

此时,电桥的抑制频率为

$$f_0=1/2\pi RC \quad (1)$$

因为 $R1=2R2$, 对任一频率信号, $U_{AB}=U_i/3$ 。由计算可知:当输入信号频率 $f=f_0$ 时, $U_{BD}=U_i/3$, 则 $U_{AB}=0$ 。此时,电桥处于平衡状态,输出为0。当输入

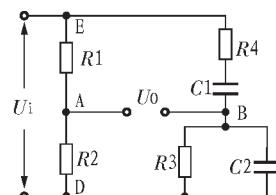


图1 文氏电桥陷波器电路

信号频率 f 偏离 f_0 时, 电桥失去平衡, 则有电压输出。

文氏电桥无源滤波器电路的选择特性很差。实际工作中, 需要阻带很窄、选择性很强的陷波器, 为此采用文氏电桥组成的有源陷波电路, 如图 2 所示。此时陷波的频率为 1 kHz。

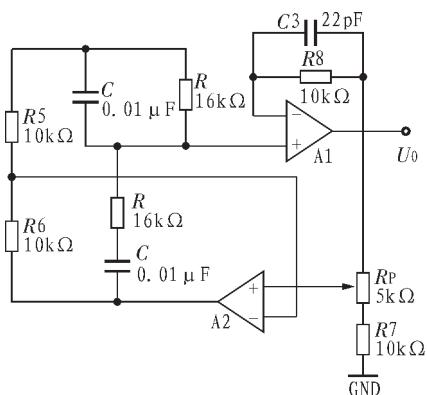


图 2 文氏电桥有源陷波器

A1、A2 是电压跟随器组态, 均有缓冲隔离作用, 具有高输入阻抗和低输出阻抗特性, 对选频电路的谐振频率无影响, A1 输出的部分电压反馈至 A2 的同相端, 并经 A2 输出到电桥桥臂。调节 R_p 可调节反馈量, 从而改变 Q 值, 以达到锐通带选频作用。若不加正反馈, 在 1 kHz 附近二次谐波的特性曲线就会下降, 不能进行准确测量。如果反馈量与频率特性有关, 用可变电阻器 R_p 调整; 如果衰减特性已调准, Q 值已选定, 则 R_p 可换成固定电阻器。在 A1 的反馈回路中加入电阻器 R8 是为了抵消输入偏流, 以减小直流漂移。C3 的作用是抑制尖峰脉冲。

当 $f = f_0$ 时, 电桥平衡, A1 的输出为 0; f 偏离 f_0 时, 电桥失衡, 有输出电压。因此该电路能抑制基波, 使谐波通过。

若取 $f_0=1 \text{ kHz}$, $C=0.01 \mu\text{F}$, 由 $R=1/2 f_0 C$ 来计算 R, 求得 $R=15 \text{ k}\Omega$ 。A1、A2 均为集成运算放大器, 可选 NE5532A 型。

高 Q 值的陷波器选择性好。但中心频率 f_0 易偏移, 会引起较大的测量误差, 因此, 测量失真度时可采用二级甚至三级串联调谐设计, 使之具有中心频率为 $\pm 1\%$ 的衰减带宽。

3 系统模块

智能化数控调谐文氏电桥陷波器包括陷波频率调谐文氏电桥、有效值检波器、A/D 采样电路和单

片机控制电路, 如图 3 所示。

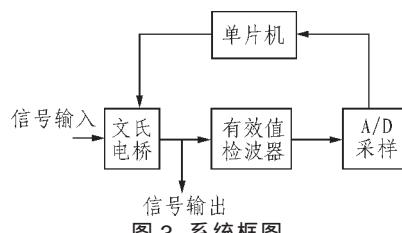


图 3 系统框图

在系统中, 一个未知频率的信号输入文氏电桥之后, 在某一个频率点进行陷波, 通过有效值检波电路对文氏电桥输出的残余信号进行有效值检波; A/D 采样电路对检波后产生的直流电压进行采样, 转换成数字信号, 并且将数据传输到单片机; 单片机对此数据进行判断, 当采集到的直流电平为最小值时, 文氏电桥的谐振中心频率正好是所需的陷波频率(即最接近基频); 如果采集到的直流电平不是最小值, 那么单片机将控制改变文氏电桥的电阻和电容, 使其中心频率接近基频。通过以上过程实现了文氏电桥陷波器的智能化数控调谐。

图 3 中的文氏电桥是在图 2 的基础上进行了改进。图 2 中的 R、C 不再由单一值的电阻器和电容器组成, C 由并联的电容网络构成, 电阻 R 由数控电位器代替, R 和 C 可以由单片机控制。

检波的作用是将文氏电桥输出的残余信号转换为可检测的数值, 提供给模数转换器进行采样并转换成数字信号。

A/D 采样电路的作用是对有效值检波输出的模拟信号采样, 转换成数字信号, 然后由单片机进行处理。

单片机控制电路主要实现采样后数据的处理、电容档的选择(控制继电器的通断)和数控电位器的控制。

4 系统设计与实现

4.1 文氏电桥

系统硬件电路中最关键的部分是文氏电桥。系统总体电路结构如图 4 所示。本系统的目的是实现自动调谐陷波, 因此, 必须改进对文氏电桥谐振中心频率起决定性作用的 R 和 C, 从固定值变成可在一定范围内自动改变的变化量。考虑到双联可变电容器较难购买, 且双联可变电阻本身又不十分精确、使用起来也不是很方便, 所以采用分档电容器实现谐振中心频率粗调, 数控电位器实现细调的方案。使用

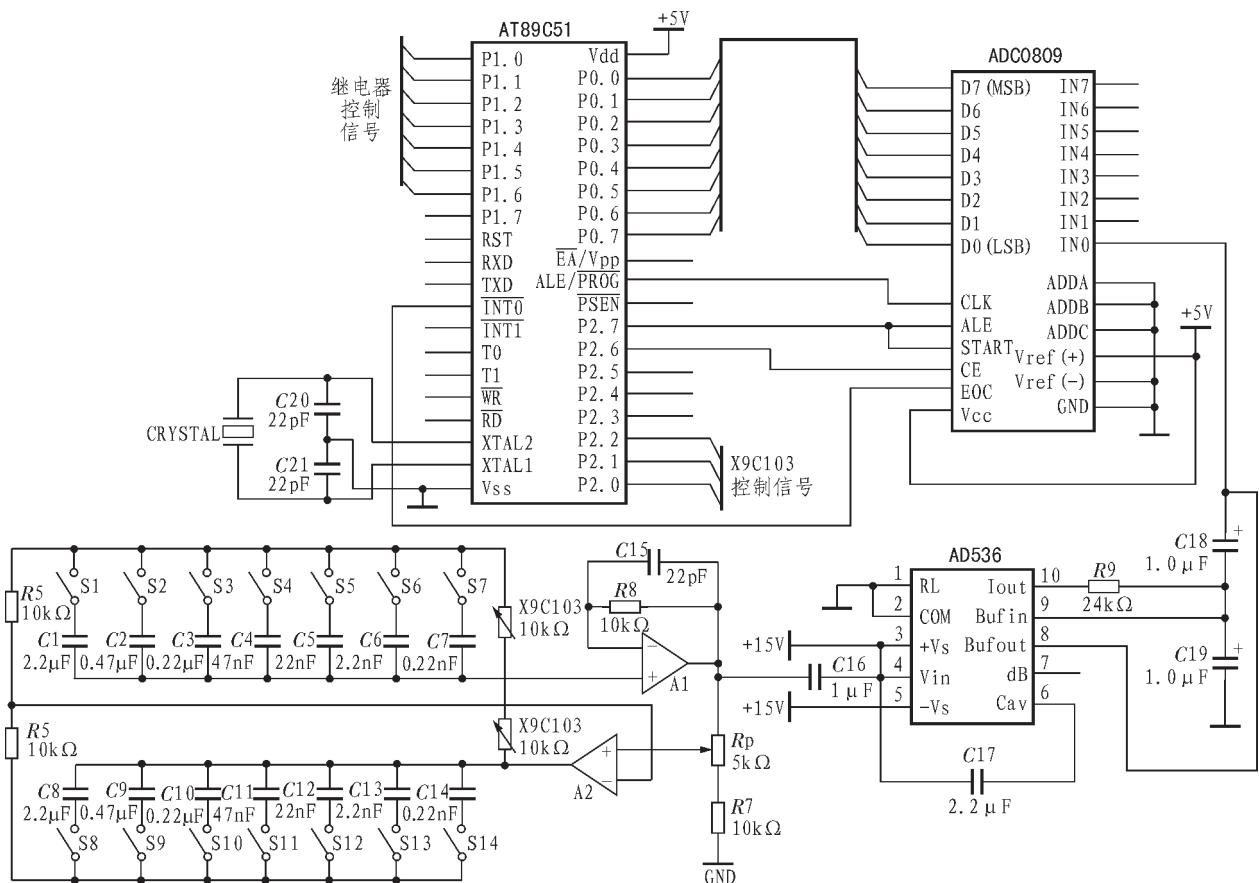


图 4 系统总体电路结构

普通的独石电容器,容值大的可用 CBB 电容器。采用比较容易购买的 100 抽头 X9C103 型数控电位器,X9C103 与单片机的接口是 3 总线方式,3 个控制端口分别为 U/D、INC 和 CS,实际设计中,3 个端口分别与单片机的 P2.0、P2.1 和 P2.2 相连。X9C103 的滑动头带有 40 的固定阻值,因此其实际阻值变化范围是 40 ~10 040 ,步进量为 100 。

分档电容器与继电器相连。使用双刀单掷继电器,每个继电器控制 2 个容值相同的电容器。继电器作为图 4 中的开关,平时处于常断状态,由单片机控制继电器的通断以接通所需的电容档,7 档电容对应 7 个继电器,分别与单片机 P1.0~P1.6 口相连。各档电容值的选取在此电路中相当重要,首先要考虑能否使频率调谐范围覆盖系统要求的整个频带,每档电容对应一定范围的频率,在单片机选定电容档后,数控电位器的步进对应于频率的步进量要小,以减小陷波中心频率和基频之间的误差。在文氏电桥工作时,之后一档电容被选通,这样可减小继电器对 RC 谐振网络的干扰。考虑到以上 3 点,经过计算及实践证明,在 10 Hz~1 MHz 频率范围内选取了 7 档比较

合适的电容,如表 1 所示。

4.2 检波与 A/D 转换

考虑到在失真度测量中输入信号本身就是不规则的失真信号,而由分立元件组成的有效值检波电路是在检测出信号的峰值后按照一定的关系计算得出有效值,一般只能用于检测规则信号(诸如正弦波等信号),输出误差比较大,不适用于失真度仪,所以本系统交流检测信号- 直流有效值的转换采用了 AD536 型转换电路。AD536 是美国 ADI 公司推出的专门用于真有效值- 直流转换的单片集成电路。它的性能与混合或模数器件相当甚至更优,

表 1 合理电容分档及相应频率范围

电容值/ μF	频率范围/Hz
2.2	10 ~ 50
0.47	50 ~ 100
0.22	100 ~ 500
0.047	500 ~ 1 k
0.022	1 k ~ 9 k
0.0022	9 k ~ 90 k
0.00022	90 k ~ 1 M

而价格则低得多。AD536A 可直接计算出任何包含直流的交流分量的复杂输入波形的真有效值，并将其转换成直流输出信号。AD536A 可广泛用于标准正弦波或非周期、非正弦且叠加直流电平的各种噪声及机械传感信号的精确测量。为了减小输出中的纹波成分，最好使用后向滤波器，如图 4 中的 R9、C18 和 C19 起到了滤波作用。

在本系统中必须对每次文氏电桥谐振频率调整后的输出信号进行测量，并与前后的测量相比较，有了上述真有效值检波，就可以直接检测陷波后信号有效值的大小。笔者使用 ADC0809 型通用 8 位并行模/数转换器将检波后的直流信号转换为 2 进制数据由单片机处理。ADC0809 有 8 路模拟输入通道，本系统只需使用一路。ADC0809 的 8 位数据输出端与单片机的 P0 口相连，CLK 信号与单片机的 ALE 口相连，CE 和 START 分别与单片机的 P2.6 和 P2.7 口相连，EOC 与单片机的 INT0 端口相连。因为在本系统之前已经设计了 1 个 ALC(自动电平控制) 电路，对输入文氏电桥的电压幅值进行合理控制，所以 ADC0809 的参考电压可取 5 V，采用 LM336-5 型集成稳压电源即可。

4.3 单片机控制

本系统选用了 AT89C51 型单片机。无论从成本、处理速度或存储容量考虑，选用 AT89C51 都是很合理的。经过计算可知，当电容比较小时，数控电位器每改变 100 时的对应频率改变量比较大，为了缩短调谐时间，程序设计从容值最小的电容器开始依次扫描，搜寻合适的陷波中心频率。

系统启动后，单片机程序首先初始化(即电容值选取 0.22 nF，数控电位器为最小值 40)，然后单片机控制 ADC0809 进行采样，读取 P0 口数据进行处理。先对整个系统进行粗扫，也就是说先不改变数控电位器的阻值，只进行电容换档，当程序扫描完整个 7 档电容后，对 ADC0809 的数据进行比较，取最小值对应的电容档作为系统所需要的档。接着再用数控电位器进行精确扫描，X9C103 有 100 个抽头，但不可能再扫 100 次。在笔者编写的程序中，设定扫描到 1 个数值之后再扫 5 个数值，如果这 5 个数值都比前面那个数值大，那么那个数值就是最小值，其对应的数控电位器值就是所需的，系统就会稳定。X9C103 接口是 3 总线式，通信协议比较简单，编程较方便。图 5 所示为本系统的软件流程。

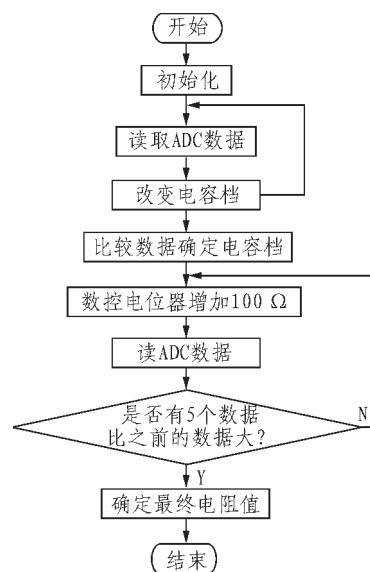


图 5 软件流程

5 结束语

本文叙述了失真度测量仪中基波抑制网络的设计，为了能很好完成其功能，笔者设计并制作了智能数控调谐文氏电桥陷波器，一级文氏电桥陷波器虽然陷波深度还不错，可以达到 60 dB 以上，但是其陷波频带不够宽，而多级串联可实现陷波频带的展宽，一般三级陷波即可具备非常好的性能。陷波器同样适用于其他类似的情况。

参考文献:

- [1] 林占江. 电子测量技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2003.
- [2] 刘京南. 电子电路基础[M]. 北京:电子工业出版社, 2003.
- [3] 张俊谋. 单片机中级教程—原理与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2002.
- [4] 胡伟, 季晓衡. 单片机 C 程序设计及应用实例 [M]. 北京:人民邮电出版社, 2003.

作者简介:朱真(1984-),男,东南大学电子工程系电子科学与技术专业大四学生,业余从事电子设计与制作;陈金颖(1982-),男,东南大学电子工程系电子科学与技术专业大四学生,业余从事电子设计与制作;赵宁(1961-),男,1981 年毕业于东南大学电子工程系电子技术与应用专业,大学本科学历,现为该校工程师,长期从事真空电子技术与应用研究。

收稿日期: 2005-12-08

咨询编号: 060716