

# 数字式频率特性测试仪的设计

武汉湖北大学物理学与电子技术学院(430062) 赵柏树  
 武汉江汉大学应用物理系(430010) 操长茂

**摘要:** 介绍了用函数发生器 ICL8038 构成压控振荡器、用 D/A 转换器提供压控振荡器的控制电压的频率特性测试仪。它以单片机为控制核心,实现了扫频频率的步进调整、频率数显、被测网络幅频特性与相频特性的数显及频率特性曲线的打印。

**关键词:** 电子测量 幅频特性 相频特性 压控振荡器 单片机

模拟式扫频仪价格昂贵,不能直接得到相频特性,更不能打印网络的频率响应曲线,给使用带来诸多不便。为此,我们研究和设计了低频段数字式频率特性测试仪。该测试仪用压控振荡器产生扫频信号,以单片机为控制核心,通过 A/D、D/A 等接口电路,实现扫频信号频率的步进调整、数字显示及被测网络幅频特性与相频特性的数显等。总框图如图 1 所示。该系统成本低廉,扫频范围较宽(10Hz~1MHz),并可方便地与打印机连接以实现频率特性曲线的打印。

## 1 扫频信号源的设计

在频率特性测试仪的设计中,扫频信号源的质量具有重要的意义。无论是模拟式扫频仪,还是数字扫频仪,都要求扫频信号源具有线性压

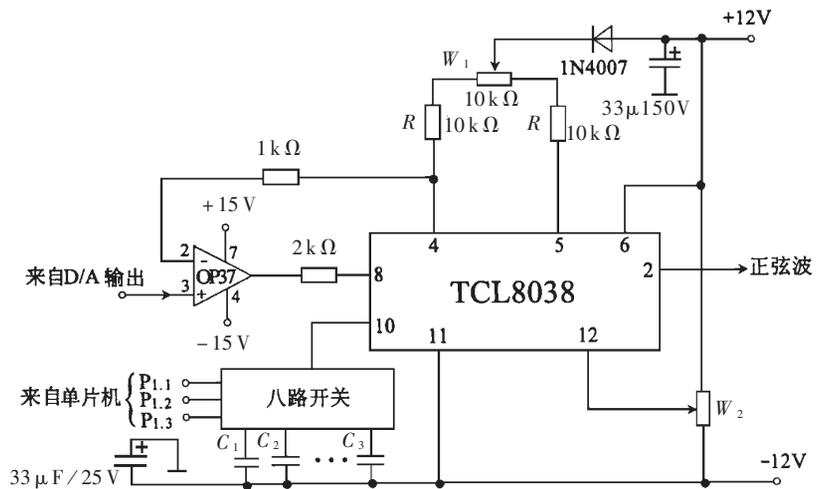


图 2 压控振荡器

控的特性,且扫频波的输出幅度应是恒定的,不因频率或被测网络的改变而改变。为此,我们选用低线性误差的函数发生器 ICL8038<sup>[1]</sup>构成压控振荡器,如图 2 所示。用 D/A 转换器提供控制电压。D/A 转换器的输入数字量由单片机给出,如图 3 所示,可实现数字量的手动和自动调整。为了提高信号源的负载能力,我们将压控振荡器的输出信号送入一宽频带功率放大器,从而增大其驱动能力。关于宽频带功率放大器已有许多优秀的

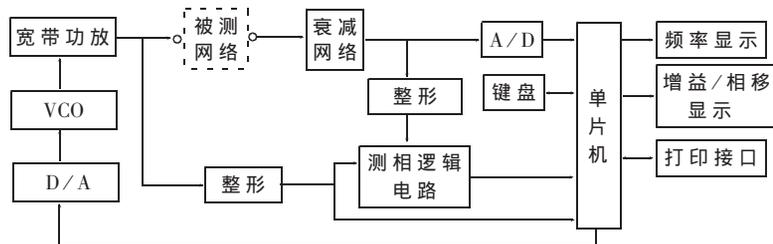


图 1 频率特性测试仪框图

(接上页)

送缓存区向物理总线接收和发送数据。本系统采用中断方式实现 CAN 的通讯过程,其中断服务程序流程图见图 4。

在程序设计中,设置了 DW、XW 两个标志,这样 CPU 不通过 SJA1000 即可知道当前数据收发情况,提高程序的执行速度。

基于 CAN 总线的分布式铝电解控制系统,可实现对电解槽生产的高效控制,保证电解槽在新型工艺技术条件下的平稳运行。该系统结构简洁,集成度、智能

化程度高,安全可靠,结构与功能可扩展性好,且易于操作与维护。CAN 总线性能优越,可广泛应用于分布式控制系统。

## 参考文献

- 1 阳宪惠.现场总线技术及应用.北京:清华大学出版社,1999
- 2 邬宽明.CAN 总线原理和应用系统设计.北京:北京航空航天大学出版社,1996
- 3 詹树仁.GMS90 及 GMS97 系列单片机的工作原理及其应用.武汉力源电子股份有限公司,1999.1

(收稿日期:2000-08-02)

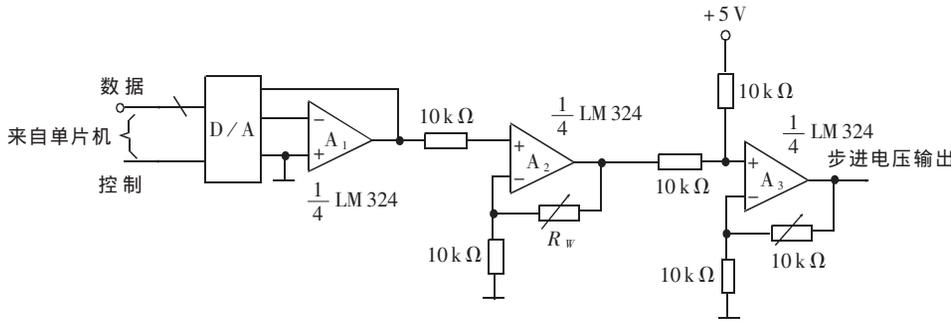


图3 D/A转换器电路图

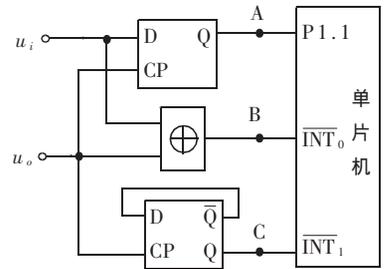


图5 测相逻辑电路

器件或电路可供选用,此处不再赘述。

振荡器的振荡频率由图2中的定时元件 $R$ 、 $C$ 及控制电压决定。当 $R$ 和 $C$ 一定时,改变ICL8038的⑧脚电压可改变振荡器的振荡频率。实验表明,仅靠改变压控电压来改变扫频波的频率是不能满足测量要求的(频率范围太窄)。为了扩展频率范围,我们采用了分档切换电容的办法。电容 $C$ 通过一电子开关接入,单片机根据扫频波的频率值自动给出相应的开关量(三位),从而选择所接入的电容值,可使扫频频率范围扩展到 $10\text{Hz}\sim 1\text{MHz}$ 。

## 2 幅频特性与相频特性的测量与打印

扫频波频率的测量与显示由单片机完成。宽带功放输出的正弦信号,经整形后送单片机供其测量并显示频率。用单片机完成这一任务已有较成熟的方法。值得注意的是测频的时间间隔不是固定的:数显时,时间间隔应较长(我们定为 $1\text{s}$ ),因显示时必须延时一段时间才能便于观察;打印时,时间间隔较小(我们定为 $1\text{ms}$ ),便于在较短时间内打印全频段数据。测频前信号的整形电路选用宽频带正弦波—矩形波变换电路<sup>[2]</sup>,如图4所示。场效应管源极跟随器的接入是为了消除变换电路对信号源的影响。

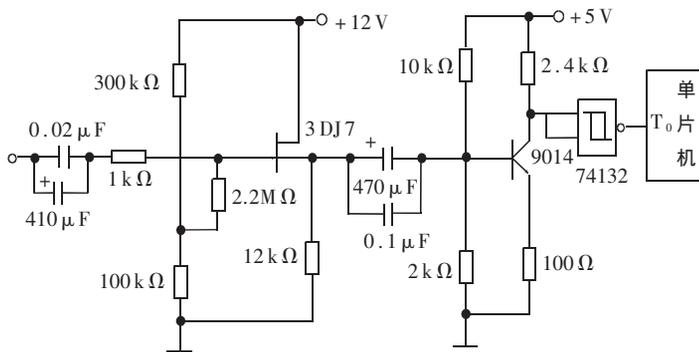


图4 正弦波整形电路

在幅频特性的测量中,被测网络的输入信号幅度是已知的,这在调整功放电路时调定。只要测出被测网络输出信号的幅度,即可算得其增益(dB数),被测网络输出信号的幅度的测量由检波器、A/D转换器及单片机共同完成。增益的计算和显示亦由单片机完成。

相频特性的测量与显示原理如下:被测网络的输

入与输出信号先经整形电路变换为矩形波,再送入图5所示测相逻辑电路中,图中 $\mu_i$ 和 $\mu_o$ 分别为被测网络的输入与输出信号。电路中有关波形如图6所示。设异或门输出脉冲宽度为 $\Delta T$ ,信号周期为 $T$ ,则输入与输出信号的相位差由下式求得:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta T}{T} \times 360^\circ \quad (1)$$

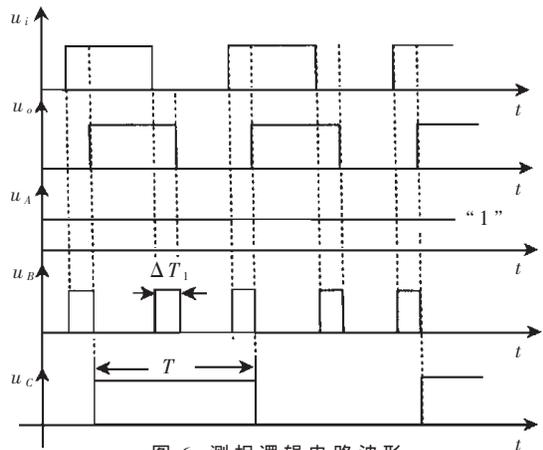


图6 测相逻辑电路波形

上式中的符号由A点电平决定,若A点为低电平,则 $\mu_o$ 超前 $\mu_i$ ,在 $\Delta\varphi$ 前加“+”号;若A点为高电平,则 $\mu_o$ 滞后 $\mu_i$ ,在 $\Delta\varphi$ 前加“-”号。 $\Delta T$ 与 $T$ 的测量及(1)式的计算与符号的确定均由单片机自动完成。

上述幅频与相频特性的测量对频率而言是离散的。某一时刻只能看到某一频率下的增益或相移。为了获得连续的频率特性曲线,我们将全段内各频率下的增益或相移存放在单片机的外部RAM中,将单片机与打印机相连,将存放在外部RAM中的数据逐个送打印机打印,取得较好的效果。单片机与打印机的接口电路如图7所示。DB<sub>0</sub>~DB<sub>7</sub>为单向数据传输线,单片机通过此传输线将待打印的数据送给打印机。 $\overline{\text{STB}}$ 为数据选通信号,此信号上升沿时,数据线上8位数据被打印机读入机内锁存并打印。BUSY为打印机的“忙”信号输出线,输出高电平表示打印机处于“忙”状态,此时,单片机不得向打印机送入新的数据字节。当BUSY为低电平时,单片机将存在外部RAM中的数据送给打印机。编制相应程序时,只要设置好打

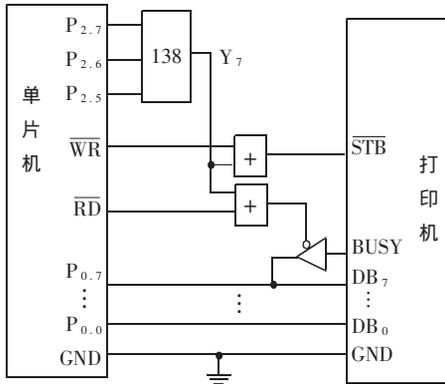


图7 单片机与打印机的接口电路

印机的控制字,并将增益或相移值作适当量化即可。

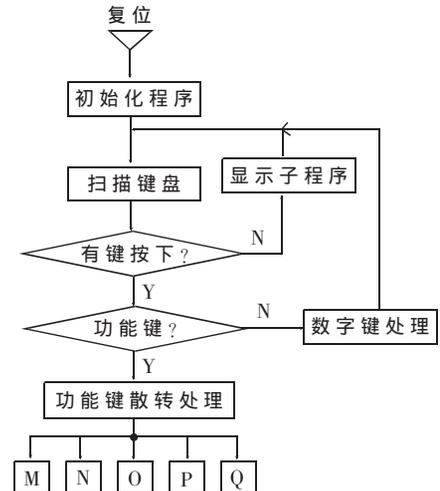
### 3 软件流程与系统调试要点

单片机最小系统构成如下:单片机选用80C32,键盘显示接口芯片选用8279,存储器选用EPROM 1片(2K)和RAM 1片(64K)。地址冲突问题由片选信号解决。A/D转换器选用0809,选用14位DAC一片,可提高分辨率。

软件流程图如图8所示。

键盘分为数字键和功能键两种,数字键用来输入扫频频率起始及终止值等;而功能键则用于幅频特性、相频特性的测量及打印等功能。

程序编制与电路调试中有几个值得注意的问题。第一是切换定时电容后频率的重迭。解决的办法是通过判断扫频频率,给出D/A所需的数字量,使扫频频率单值上升。各电容的值通过实验调定。第二是步长问题,在数显功能下,步长不能太小,否则,观察一段频率范围的频响耗时巨大。针对这一问题,我们通过改变步长的办法来解决,在低频段取较小步长,而高频段取较大步长。在打印功能下,由于不需要延时,故可在全频范围取较小步长(10Hz),每步所需时间仅为单片机执行指令及电路响应的的时间,能较快地



- M: 全频范围或预置频率范围自动步进、显示频率和增益
- N: 全频范围或预置频率范围自动步进、显示频率和相移
- O: M的自动改为手动
- P: N的自动改为手动
- Q: 打印幅频与相频特性曲线

图8 软件流程图

打印全频段的频率特性曲线。这时,频率轴为线性分度,便于定量分析。第三个问题是增益与相移的满量程问题。增益的量程我们定为 $\pm 40\text{dB}$ ,较大增益的网络通过衰减网络接入,增益小于 $-40\text{dB}$ 时被量化为 $-40\text{dB}$ 。相移的满量程为 $\pm 180^\circ$ 。实验表明,我们设计的系统稳定可靠,打印的幅频特性曲线与传统模拟扫频仪所测曲线相符,相频特性曲线与理论一致。

### 参考文献

- 1 陈泽宗,张 锴,屠忠遂.单片精密函数发生器 ICL8038 及其应用.电子技术应用,1997(9):49~51
- 2 赵柏树.宽频带正弦波一矩形波变换电路的研究.武汉大学学报(自然科学版),1998(增刊):39~41

(收稿日期:2000-08-20)