

# 超声波换能器电功率分析仪的研究

朱 武 金长善

(哈尔滨工业大学 哈尔滨 150001)

本文介绍一种高精度交流数字功率分析仪。该仪器采用真有效值技术完成交流电流、电压的交直流转换,利用三次有效值的方法实现交流功率的测量。在仪器中引入自动校准技术,在电路中没有任何可调元件,提高了系统的可靠性和稳定性。

关键词:有效值,双级电流互感器,超声换能器

## Study on power analyzer of ultrasonic transducer

ZHU Wu JIN Changshan

(Haerbin Institute of Technology Haerbin 150001)

A AC digital power analyzer with high precision is described in this paper. In this instrument, the technique of true RMS-to-DC is used to convert alternating voltage and alternating current to direct voltage, and the method of three RMS values is used to achieve AC power measurement. There is no any adjustable element in the circuit because of auto calibration introduced, which improves the instrument's reliability and stability.

**Key words:** RMS, two-stage current transformers, ultrasonic transducer

### 1 前 言

超声技术在工农业生产及国民经济的各个方面得到广泛的应用,国内外都对此进行了积极的研究工作。超声清洗、超声加工、处理、乳化、粉碎、雾化、超声焊接等多种应用,都是利用超声能量来完成的。因此,在功率超声的研究和开发中,对功率超声发生器电功率的准确测试也显得越来越重要。目前,国内交流精密指示仪仍主要沿用五六十年代设计的电动系或电磁系仪表。这类仪表受设计原理限制,呈现平方刻度特性,并且制造工艺复杂,准确度难以提高,为此,本文主要介绍基于真有效值(RMS)转换技术的超音频交流

电流、电压及功率的测量。

### 2 系统构成和工作原理

本仪器的工作原理框图如图1所示。由后面板输入的电压和电流取样信号分别经过有源衰减和放大后,输入至真有效值转换器和加法器。真有效值转换器将输入的两信号转换成分别对应于被测电压、被测电流的真有效值,同时,电压信号和电流信号输入到两输入端的加法器,完成两信号的瞬时相加,通过真有效值转换器得到两交流信号和的真有效值。在CPU的控制下,通过模拟转换开关对3个有效值进行模/数转换,对量化的结果进行

第一作者:朱武,1969年9月生,博士研究生

收稿日期:97-11-10;修回日期:98-2-10

数据处理就可以得到超声换能器的交流电压、交流电流的有效值和输入电功率,并由LED进行数显。

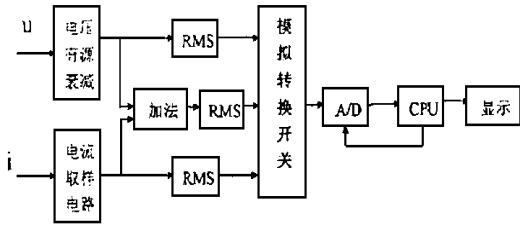


图1 仪器基本原理框图

### 3 电流取样电路的设计

本仪器采用电子式双级感应分流器作为电流取样元件,该分流器既实现了电流比例转换,又实现了电压回路与电流回路的隔离,其原理如图2所示,在分流器中由于首先采用电流比例转换,消除了导线电阻趋肤效应造成的电流比例影响,使电流测量范围大大扩展。其次,按比例衰减的电流通过电阻转换成电压,可控制电阻的功耗为电阻分流器的1/10以下,因而大大减少了电阻热稳定性的影响,提高了分流器的准确度。由于电流转换器的次级工作在零负载电阻的情况下,故在较宽的频带内电流比例转换的准确度较好。1994年7月在英国 Datron 公司本部 Norwich 对分流器进行实测,结果表明该分流器在30kHz 频率范围内线性度优于300ppm。

### 4 真有效值转换器的设计

本仪器采用对数-反对数运算电路实现交流真有效值(RMS)转换。有效值转换器电路由3部分组成:绝对值电路、对数-反对数电路和滤波电路。其简化原理如图3所示。

交流信号经精密绝对值电路后输出电流 $i_c$ ,若选择匹配电阻,使 $R_4 = R_6 = R_7 = R, R_5 = R/2$ ,由绝对值电路原理可知:

$$i_c = u / R \quad (1)$$

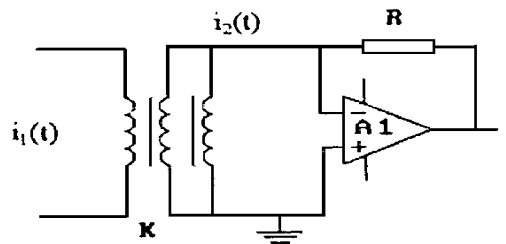


图2 电子式双级感应分流器

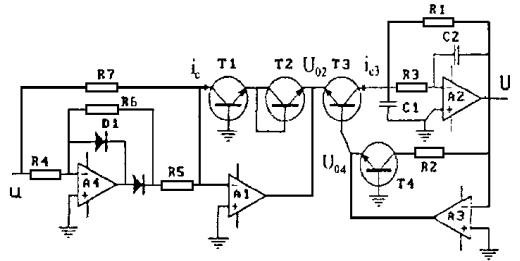


图3 真有效值转换器原理图

放大器 A 1 与晶体管 T 1、T 2 构成双重对数,对数放大器输出电压为:

$$U_{02} = - \frac{KT}{q} \ln \frac{i_c^2}{I_{S1} I_{S2}} \quad (2)$$

式中:  $I_{S1}、I_{S2}$  为晶体管 T 1、T 2 的基射结反向饱和电流,  $T$  为绝对温度(K)。  $K = 1.38 \times 10^{-23}$  焦/开尔文  $q = 1.6 \times 10^{-9}$  库仑。同理,对于 T 3 有:

$$U_{be3} = U_{04} - U_{02} = \frac{KT}{q} \ln \frac{i_c^2 I_{S4} R_2}{I_{S1} I_{S2} U} \quad (3)$$

对于 T 3 又有:  $U_{be3} = \frac{KT}{q} \ln \frac{i_c^3}{I_s^3}$  (4)

由(3)、(4)式知:  $\frac{i_c^2}{I_{S1} I_{S2}} = \frac{U_{be3}}{I_{S3} I_{S4} R_2}$  (5)

选用性能匹配的晶体管,则  $I_{S1} I_{S2} = I_{S3} I_{S4}$ ,由(1)、(5)式得:  $u^2 / R^2 = U_{be3} R_1 / R_1 R_2$ ,其中  $u、i_{c3}$  为交流量,经过滤波后,如果滤波时间常数足够大,则有  $\overline{i_{c3} R} = U$ ,当输入一定时,  $U$  应不变,所以可得:  $\overline{U_{be3} R_1 / R_1 R_2} = \overline{u^2 / R^2}$ ,化简得:

$$U = \frac{R_1 R_2}{R^2} \frac{1}{T} \int_0^T u^2 d(t) \quad (6)$$

通过模拟运算后,得到交流有效值。

另外,在该有效值转换电路中,还采用了非线性补偿和频率补偿等先进技术手段,使该有效值转换器在20~30kHz 频率范围内仍具有较好的线性度,利用韦夫特克公司生产

的多功能仪器标准源对该转换器进行对比,其线性度优于0.05%,达到较佳效果。

## 5 功率测量

交流功率测量的方法较多,大概有5、6种,而最常用的是时分割乘法器法和采样计算法。由于时分割乘法器模拟开关泄漏的影响,致使其零点漂移,尤其对频率较高的交流信号进行测量时,因调制频率升高,零点漂移变得更加严重,限制其应用范围。采样计算法具有方法直接的优点,但受A/D转换器和控制器速度的限制,对超音频信号的测量也显得较困难。因此,本文介绍利用真有效值转换技术实现对超音频信号的电功率测量。其基本原理如下:

若  $U$  和  $I$  为交流电压、交流电流的有效值,  $u$  和  $i$  为交流电压、交流电流的瞬时值,  $S$  为  $u$  和  $i$  矢量和的有效值,  $P$  为有功功率。由电工学理论知,功率为:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (u \cdot i) dt \quad (7)$$

由有效值定义知:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} \quad (8)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (9)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (u + i)^2 dt} \quad (10)$$

那么:  $S^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (u + i)^2 dt$

$$= \frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt + \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt + 2 \times \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i dt$$

$$= U^2 + I^2 + 2 \times \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i dt \quad (11)$$

由(7)、(8)、(9)、(11)知,所求功率为:

$$P = (S^2 - U^2 - I^2) \div 2 \quad (12)$$

因此,只要测出有效值  $S$ 、 $U$  和  $I$  就可以通过单片机按式(12)计算有效功率值。

在超音频信号的测量中,另一个主要误差源是放大器电路。对于普通的反馈放大器,当被测信号频率升高时,误差向负值增大。由于同相放大器除增益值随频率增高而下降引起的误差外,交流共模抑制比也引起较大的误差。因此,在本仪器设计中采用了反向加法器的形式,并且使用组合反馈方式,具体电路如图4所示。采用该组合反向加法器,其准确度比一般反向器的准确度提高10倍以上。

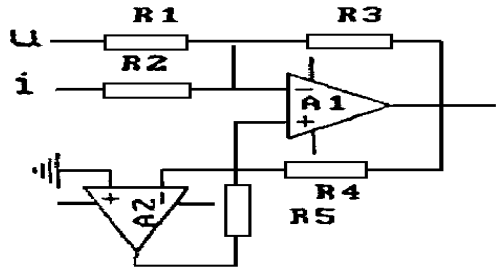


图4 组合反向加法电路

## 6 系统软件

本仪器以8032单片机作为控制器,以VFC实现模/数转换。系统软件分为两部分,一是工作程序,二是校准程序。工作程序控制

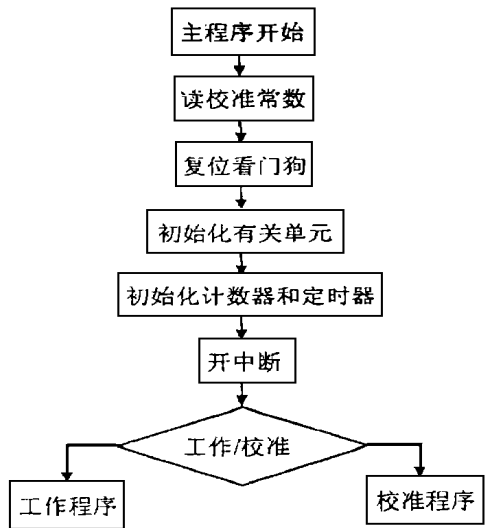


图5 主程序流程图

仪器循环测量交流电流、交流电压和交流功率,并同时显示出来。在工作程序中设有软件

定时器,使仪器开机后每30分钟自动校准VFC失调电压。用校准钥匙打开校准锁后,就进入校准程序,通过前面板的保持键和功率因数键同时按下和同时弹起,使仪器分别进入电流、电压和功率等不同功能的校准状态。CPU根据按键信息分别对各量程进行校准,校准完成后,将校准参数写入EEPROM中。然后,将校准锁锁上,退出校准状态,其主程序流程图如图5所示。

## 7 实验结果

采用了标准源法对该仪器进行比对,其测试部分数据见表1。

表1 测试数据

交流电流5A 量程			交流功率5A × 300V 量程		
标准源输出(A)	被检表示值(A)	误差(%)	标准源输出(W)	被检表示值(W)	误差(%)
0.20000	0.196	0.08	50.0000	49.60	0.02
1.00000	0.993	0.14	100.000	99.15	0.06
2.50000	2.486	0.28	750.000	747.1	0.2
5.00000	4.998	0.04	1000.00	994.1	0.39
			1500.00	1499	0.06

## 参考文献

- 1 F. L. Hermarch, AC-DC comparaters for audio frequency current and voltage measurement of high accuracy. IEEE Trans. Meas., 1976; 1M-25 (5)
- 2 吕实诚,王琳,王学伟.一种高准确度反向放大器.电测与仪表,1996;3

## 简讯两则

6月中旬美国美利坚科学名人传记学会(AASB)给我声学学会常务理事章奎生同志寄来一块精致的1997年度世界科学名人铭牌,上面用英文刻印着“章奎生先生以其杰出的学术成就被美国科学传记学会评选载入1997年度世界科学名人录,并授予此铭牌”。该学会主编伊迪·福斯特还来函告知将编辑一份章奎生先生的名人传记,编载在全球电脑万维网上。

[本刊讯]

最近国际经济评论(香港)中心来函通知,经世界华人重大科技成果评审委员会评选,“上海大剧院观众厅声学模拟试验研究”成果被选入“世界华人重大科技成果公报”并将颁发证书和在香港文汇报正式公布。此项成果是由华东建筑设计研究院负责,同济大学及清华大学协作完成的。

[本刊讯]