

放大器失调电压对交流有效值转换器的影响分析*

张佳民 杨宁

(上海电力学院, 上海 200090)

摘要: 在高准确度的交流参数测量中, 对数-反对数放大器通常用来实现交直流真有效值转换器。在设计交直流转换器时, 除了关心转换器的线性度和增益的稳定性外, 转换器的零点稳定性也是实现高准确度测量的关键技术问题。本文以放大器的失调电压作为误差影响因素, 分析放大器失调电压对交流真有效值转换器误差的影响, 并给出失调电压影响的表达式。

关键词: 真有效值, 对数-反对数放大器, 失调电压, 误差分析

中图分类号: TM933.13

文献标识码: A

文章编号: 1001-1390(2009)07-0060-02

Analysis on Influence of Offset Voltage of Amplifier on AC TRMS Converter

ZHANG Jia-min, YANG Ning

(Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: In AC parameters measurement with high accuracy, as a rule, log and antilog amplifier is used to perform true rms-to-dc conversion. Besides paying attention to the linearity and the gain stability of true rms-to-dc converter, zero stability is a key technology to achieve high accuracy when we design converter. In this paper, the error of true rms-to-dc converter was analyzed under the condition of offset voltage of amplifier as main error, and the offset voltage expressions for affect were given.

Key words: true root-mean-square, log amplifier and antilog amplifier, offset voltage, error analysis

0 引言

随着电力电子技术的普及、大功率变频调速装置的应用、电气化铁路的发展等, 使得电网的波形经常发生畸变, 有时其波形为非正弦波, 使用传统平均值法的交流测量表, 只能测量没有失真的标准正弦交流信号的有效值。如果被测信号为失真或非正弦的其它交流信号, 则会产生较大的测量误差。随着科学技术的发展, 对测试水平提出更高的要求, 一般需要测量交流信号的真有效值。通常有两种方法实现交流有效值(RMS)测量, 即热电式和运算式, 用这两种方式研制的仪器转换交流均可获得较高的准确度^[1-3]。考虑到准确度、稳定性、线性度以及成本方面的因素, 通常采用对数-反对数运算放大器电路完成交流真有效值转换。这种测量原理的交-直流转换具有良好的频率特性, 已在7075, 1071等高精度数字电压表中广泛使用。这种采用对数-反对数运算电路实现的真有效值转换器由三部分组成: 绝对值电路, 对数-反对数放大

器及滤波电路。本文以交直流转换器中的放大器失调电压为对象, 研究失调电压及其变化对真有效值转换器的影响。

1 交流真有效值转换器的原理

本文所研究的真有效值转换器是采用对数-反对数运算电路实现真有效值转换的。其真有效值转换电路由三部分组成: 绝对值电路, 对数-反对数电路及滤波电路, 其原理框图如图1所示^[4-5]。

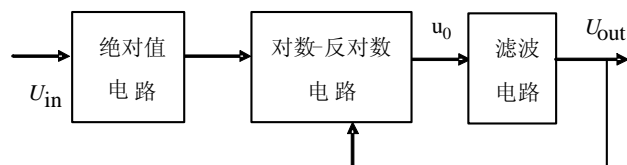


图1 有效值转换器原理框图

Fig.1 Fundamental diagram of TRMS converter

输入交流信号 u_{in} 经绝对值电路变为单极性信号, 即 $u_{in}(\ell) \rightarrow |u_{in}(\ell)|$, 若对数-反对数放大器输出为 u_0 , 则 $u_0 = |u_{in}(\ell)|^2 / u_{out}$ 。此时 u_0 仍为脉动直流, 其频率是被测信号的两倍。要想得到有效值, 还要进行滤波。经

* 上海市重点学科建设资助项目(J51301)

滤波后 $\mu_{out} = \sqrt{u_{in}(\xi)^2 / u_{out}}$ 。在输入一定且理想滤波的情况下 μ_{out} 为常数。则：

$$u_{out} = \sqrt{u_{in}(\xi)} \quad (1)$$

这样就实现了交-直流真有效值的转换。

2 真有效值转换器电路的误差分析

本研究采用对数-反对数运算放大器电路来完成交流真有效值(RMS)转换,其实现原理电路框图如图2所示。其中 $D_1, D_2, R_1, R_2, R_3, R_4$ 和放大器 A_1 构成绝对值电路, T_1, T_2 和 A_2 构成双重对数放大器, T_3, T_4 和 A_4 构成双重反对数放大器, C_1, C_2, R_5, R_6 和 A_3 构成二阶低通滤波器。设 $U_{os1}, U_{os2}, U_{os3}, U_{os4}$ 分别为放大器 A_1, A_2, A_3, A_4 的失调电压。在只考虑放大器失调电压的影响的情况下,其误差分析模型如图2所示。

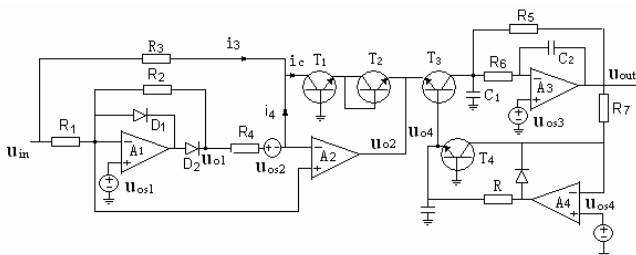


图 2 真有效值转换器误差分析模型

Fig.2 The model of error analysis for TRMS converter

(1) 绝对值电路的误差分析

设 $R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=R_7=R, R_4=0.5R$

当 u_{in} 为正半周期时, D_1 导通, D_2 截止, 则:

$$i_c = i_3 = \frac{u_{in}}{R} - \frac{u_{os1}}{R} - \frac{5u_{os2}}{3R} \quad (2)$$

当 u_{in} 为负半周期时, D_1 截止, D_2 导通, 则:

$$u_{o1} = -u_{in} + 2u_{os1} \quad (3)$$

输入到对数放大器的电流为:

$$i_c = \frac{u_{in} - u_{os1} - u_{os2}}{R_3} + \frac{u_{o1} - (u_{os1} + u_{os2})}{R_4} \quad (4)$$

由式(3)、(4)化简得:

$$i_c = \frac{-u_{in}}{R} + \frac{u_{os1}}{R} - \frac{3u_{os2}}{R} \quad (5)$$

(2) 对数-反对数电路的误差分析

T_1, T_2 和 A_2 构成双重对数放大器, 根据埃伯尔斯莫尔方程, 则有:

$$u_{o2} = - (u_{be1} + u_{be2}) = - \frac{KT}{q} \ln \frac{i_c}{I_{s1} I_{s2}} \quad (6)$$

式中 I_{s1}, I_{s2} 为晶体管 T_1, T_2 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 $q=1.6 \times 10^{-19}$ 库。

对于反对数三极管 T_3 有:

$$u_{be3} = u_{o4} - u_{o2} = \frac{KT}{q} \ln \frac{i_c^2 I_{s4} R}{I_{s1} I_{s2} (u_{out} - u_{os4})} \quad (7)$$

同理对于 T_3 有:

$$U_{be3} = \frac{KT}{q} \ln \frac{i_{c3}}{I_{s3}} \quad (8)$$

由式(7)、(8)可得:

$$\frac{i_c^2}{I_{s1} I_{s2}} = \frac{(u_{out} - u_{os4}) i_{c3}}{I_{s3} I_{s4} R} \quad (9)$$

选用匹配对管, 则有 $I_{s1} I_{s2} = I_{s3} I_{s4}$, 则:

$$i_c^2 = \frac{(u_{out} - u_{os4}) i_{c3}}{R} \quad (10)$$

在滤波器中, 设 I_{c3} 为 T_3 的集电极电流, 如果时间常数足够大, 则有:

$$\bar{i}_{c3} = \frac{(u_{out} - u_{os3})}{R} \quad (11)$$

当输入一定时, μ_{out} 为一常数, 即 u_{out} 。把式(11)代入(10), 整理得:

$$U_{out}^2 - U_{out} (u_{os3} + u_{os4}) - \bar{i}_{c3}^2 R^2 = 0 \quad (12)$$

由于电路采取保护措施, 当输入较大时, 只能有正值, 则:

$$U_{out} = \frac{u_{os3} + u_{os4}}{2} + \sqrt{\frac{(u_{os3} + u_{os4})^2}{4} + \bar{i}_{c3}^2 R^2} \quad (13)$$

根据式(2)、(5)可得:

$$\bar{i}_{c3}^2 R^2 = \frac{R^2}{T} \left[\int_0^{\frac{T}{2}} \left(\frac{u_{in}}{R} - \frac{U_{os1}}{R} - \frac{5U_{os2}}{3R} \right)^2 dt \right] + \quad (14)$$

$$\frac{R^2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} \left(\frac{-u_{in}}{R} + \frac{U_{os1}}{R} - \frac{3U_{os2}}{R} \right)^2 dt$$

整理得:

$$\bar{i}_{c3}^2 R^2 = \frac{I}{T} \left[\int_0^{\frac{T}{2}} (u_{in} - U_{os1} - 5U_{os2} / 3)^2 dt \right] + \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} (-u_{in} + U_{os1} - 3U_{os2})^2 dt \quad (15)$$

从式(15)看出, U_{os1} 在输入信号的正半周期使 i_c 减小, 在负半周期使 i_c 增加。当输入较大时, U_{os1} 在整个周期内的影响很小, 一般可以忽略。所以式(15)约为:

$$\bar{i}_{c3}^2 R^2 \approx u_{in}^2 + \frac{53}{9} U_{os2}^2 + \frac{4}{3} u_{in} U_{os2} \quad (16)$$

(下转第 80 页)

$B_f=77.5\text{mT}$ $H_c=16.2\text{A/m}$ 。通过实验室相关仪器测量的相应数据 $H_m=177\text{A/m}$ $B_m=298\text{mT}$ 。从而计算相对误差分别为 5.6%和 4.02%。这个测试数据的误差较大,主要原因是对于各个数据的读取都是通过示波器靠人工比对读取的,会出现较大误差。所以在整个系统的后段还要加上数字信号采样和数字信号处理部分,这样可以大大减小测试最后的误差。

4 结论

本文完成了对软磁环的动态磁滞回线测试电路的硬件设计。但是在硬件电路的设计中还要考虑到对高频干扰的抑制、放大倍数的确定、波形毛刺的抑制等问题。所以当和后端的数字部分相连接时,可以考虑用数字滤波等方法,提高信号的抗干扰能力。

参考文献

[1] 翁兴园.前景广阔的中国软磁铁氧体产业[J].产业论坛,2003,

(113):28.

[2] 梅文余.动态磁性测量[M].北京:机械工业出版社,1985.

[3] 谢嘉奎.电子线路[M].北京:高等教育出版社,2003.

[4] TDA2006.pdf. http://www.21ic.com.

[5] 马场清太郎.运算放大器应用电路设计[M].北京:科学出版社,2007.

[6] 刘玳衍.基于8098单片机的磁参数测量仪预处理电路研究[J].磁性材料及器件,1998,30(3):58-61.

LIU Dai-heng. Preprocessing Circuit for Ferrite Parameter Measuring Instrument Based on 8098 Monolithic Computer [J]. Journal of Magnetic Materials and Devices, 1999, 30(3):58-61.

作者简介:

吕晔(1981-),男,汉族,浙江缙云人,丽水学院教师,研究方向为信号处理与应用。Email: starlye@sina.com

周洪强(1979-),男,汉族,浙江海宁人,丽水学院机电分院工程师,研究方向为自动控制领域。

收稿日期 2009-02-17

(常会敏 编发)

(上接第 61 页)

把式(16)代入式(13)化简得:

$$U_{out} \approx \frac{U_{os3} + U_{os4}}{2} + \sqrt{u_{in}} \cdot \left(1 + \frac{53U_{os2}^2}{18u_{in}^2} + \frac{4\overline{u_{in}} \cdot U_{os2}}{6u_{in}^2} + \frac{(U_{os3} + U_{os4})^2}{8u_{in}^2} \right) \quad (17)$$

从上式可以看出 U_{os2} 、 U_{os3} 、 U_{os4} 均较小,较大时 u_{in} ,真有效值转换器输出失调电压主要由放大器 A_3 、 A_4 的失调电压引起的;当输入信号与失调电压大小相当时,即输入信号较小时,真有效值转换器输出失调电压受放大器 A_2 的失调电压 U_{os2} 的影响较大,并且在零区附近造成测量的非线性。

3 结论

本文分析了放大器的失调电压对对数-反对数放大器构成的真有效值转换器的影响误差,给出了失调电压作为主要影响因素的误差表达式。从分析中可以得到如下结论:(1)在转换器中,全波整流电路采用图2电路的联结方式,放大器失调电压对真有效值转换器的影响很小,可以忽略。因此,可以放宽放大器失调电压的要求,选用交流特性好的放大器作为有源整流电路,提高绝对值电路的准确度。(2)输入信号较大时,零点主要受放大器 A_3 、 A_4 失调电压的影响。因此,仪器调零时,可以输入一个远大于失调电压的信号,将仪器调零来消除输出放大器 A_3 、 A_4 的影响。(3)当输

入信号很小时,双重对数放大器 A_2 的失调电压影响较大,并在零区附近产生非线性。减小放大器 A_2 的失调电压可以缩小零区附近的转换非线性区域。

参考文献

[1] Goyal R. Brodue B. Recent advances on precision AC Measurements[J]. IEEE Trans on Instrumentation and measurement. 1984, 33(3):164-167.

[2] Harold L. Stott J. A multirange Standard for AC/DC measurement [J]. IEEE Trans on Instrumentation and measurement. 1986,45(4): 387-391.

[3] Ott W.E. A new technique of thermal rms measurements[J]. IEEE Journal of Solid-state circuit. 1974,9(6):374-380.

[4] 史延龄,邹来智,闫志强.交流电压真有效值的测量[J].电工技术杂志,2003,5:34-38.

SHI Yan-ling, ZOU Lai-zhi, YAN Zhi-qiang. The measurement of AC Voltage TRMS[J].Electrotechnical Journal,2003,5:34-38.

[5] 聂开宝,陈涤,陈志坚.一种用对数-反对数电路实现真有效值AC/DC转换的方案[J].应用科技学报,2000,18(1):72-75.

NIE Kai-bao, CHEN Di, CHEN Zhi-jian. True RMS AC / DC Conversion Based on the Log and Anti-log Electronic Circuits [J]. Journal of Applied Sciences, 2000,18(1):72-75.

作者简介:

张佳民(1970-)女,硕士,讲师,主要从事传感器与测试技术等方面的研究。Email:zjmxinxiang@163.com

杨宁(1976-)男,博士,副教授,主要研究方向为捷联惯性导航系统。

收稿日期 2009-02-06

(田春雨 编发)