

文章编号: 1672-2892(2010)05-0569-04

## 任意高频信号真有效值测量技术

王小霞, 陈 练, 李心耀

(中国工程物理研究院 总体工程研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘 要:** 针对传统测量方法和测量仪器无法准确测量失真正弦波或非正弦信号有效值的问题, 提出利用美国 AD 公司的真有效值检测单块集成电路 AD536A 测量任意高频信号真有效值的方法。从理论上说明平均值测量法测量的有效值与真有效值的区别, 分析了当前有效值测量方法的缺点, 设计了真有效值检测电路。实验表明, 该测量方法和检测电路能实现对任意高频信号真有效值的测量。

**关键词:** 任意高频信号; 真有效值; AD536A 芯片

**中图分类号:** TN911.23

**文献标识码:** A

## Measure techniques for the true RMS of any high frequency signal

WANG Xiao-xia, CHEN Lian, LI Xin-yao

(Institute of System Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621900, China)

**Abstract:** Traditional methods and instruments are not able to measure the true Root Mean Square(RMS) of distortion sine wave or non-sine signal accurately. This article introduces a method to measure the true RMS of any high frequency signal by using the true RMS measurement IC, AD536A, designed by AD corporation. The paper analyses the difference between the RMS measured by the average measure method and the true RMS in theory. It explains the disadvantages of current RMS measure method, and presents the design of true RMS measure circuit. The experiment results prove that the proposed method and circuit can measure the true RMS of any high frequency signal accurately.

**Key words:** any high frequency signal; true Root Mean Square; AD536A

由于电力电子技术的飞速发展, 各种电力电子装置在工业、交通及电力系统中的应用日益广泛, 电力电子技术朝着高频化方向发展, 电压、电流波形中高次谐波分量增大, 波形畸变也日趋严重<sup>[1]</sup>。传统的测量工具(万用表、常规电流表等)已经无法准确测量这种畸变高频信号的有效值。然而, 有效值测量是交流信号(交流电压、交流电流等)测量的重要内容<sup>[2]</sup>, 如何准确、实时地测量各种信号波形的有效值, 而不必考虑波形参数以及失真度的大小, 成为了电力电子测量技术领域中的焦点。

### 1 真有效值及其检测

电流有效值通常是指电流的等效热效应或均方根值。这个数值等同于一个直流电流, 该直流电流和被测的交流电流具有相同的热效应。电信号测量中, 经常要测量电信号的有效值, 最常用的方法就是平均值测量法<sup>[3]</sup>。

平均值测量法是利用平均值 AC/DC 转换器获得平均值电压, 根据正弦波有效值与平均值的确定关系, 得到被测信号的有效值, 即:

$$I_{\text{RMS}} = K_f \bar{I} = \frac{K_f}{T} \int_0^T |i(t)| dt \quad (1)$$

式中:  $K_f$  是正弦波的波形因数, 它代表了信号是一个完好的正弦波时平均值和有效值之间的恒定关系, 一般  $K_f=1.11$ ;  $\bar{I}$  是平均值电流;  $T$  是一个周期;  $i(t)$  是  $t$  时刻的电流值。

真有效值是真正反映电流对电路热效应的值, 它通过一个数学公式来计算电流对电路的等效值, 即:

$$I_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 \omega dt} \quad (2)$$

经离散化处理, 可化简为:

$$I_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{n=0}^{n-1} i^2(n)} \quad (3)$$

由此可见, 真有效值是信号一系列瞬时值的平方的算术平均数的平方根, 而不是整流信号的平均值。平均值测量法仅适用于无谐波的纯正弦信号场合, 当被测信号存在失真, 或者为方波、矩形波、三角波、锯齿波、梯形波、阶梯波、晶闸管波等非正弦波形, 继续使用该方法会引起显著的测量误差<sup>[4]</sup>。这也就是平均响应的数字表在测量目前电力系统的电流时, 不能给出正确读数原因。

目前, 信号有效值测量方法主要有:

1) 热电偶电桥有效值变换器, 市场上的有效值电压表即采用这种变换器。虽然它可以实现真有效值变化, 但实际制作相当困难, 热电偶难以配对, 且过载能力低, 造价高, 因而除有效值电压表外, 其他电子测量和控制仪器不宜采用这种变换器。

2) 用模拟运算放大器组成电子式有效值变换器。用模拟运算放大器分别组成平方器、积分器即可完成有效值变换, 这种有效值变换器的具体实现方案有多种电路形式, 但由于模拟运算放大器性能的离散性, 所以这种方法实现的有效值变换精确度很低。

3) 用单片机逐点采样一组数据, 求均方根值, 得其有效值。这种方法能获得较为精确的有效值, 具体实现也比较方便, 但对于动态范围比较大的信号采样较难, 不能得到精确的有效值。

## 2 检测电路设计

AD536A 是美国 AD 公司推出的真有效值测量的单块集成电路, 它的性能与混合或模数器件相当甚至更优, 能计算复杂输入信号(包括交、直流成分)的有效值, 并且给出一个与之等效的直流输出电平。波形的有效值比平均值更有用, 因为它和信号的能量有关系, 而且随机信号的有效值与它的方差有关。这种转换器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<sup>[5]</sup>。

AD536A 特有的峰值因数补偿电路, 使其在峰值因数达到 7 时, 测量误差仅为 1%; 它的频带很宽, 可以测量频率为 300 kHz, 电压值在 100 mV 以上, 带有 3 dB 误差的信号电平; 利用外部提供的参考电压, 用户能方便设置 0 dB 电平, 使其可以对应于从 0.1 V 到 2 V 之间的任何有效值<sup>[6]</sup>。

利用 AD536 设计的电流真有效值检测电路原理见图 1, 通过霍尔传感器对被测电流  $i_p$  进行检测后, 输出电流  $i_s$ , 随后将其转换成电压  $V_{in}$ , 以此作为真有效值转换器的输入, AD536A 通过一系列计算, 最后以电流  $I_{out}$  或者电压  $V_{out}$  的形式输出能表征被测信号真有效值的直流电平。其中, 霍尔传感器采用  $\pm 15$  V 供电, AD536A 采用  $\pm 5$  V 供电。

在电路设计的过程中, 考虑到能够测量大电流, 尤其是含谐波成分的大电流, 使用了 1 000:1 变比的闭环霍尔传感器 CHB-50A, 其结构见图 2。

CHB-50A 电流测量范围宽, 能够适用于测量小电流(mA 级)的要求, 灵敏度高, 能同时测量直流、交流以及脉冲电流; 在测量范围内线性度好, 输出波形不畸变, 被测电流与输出信号电压之间固有相位差变化小; 工作稳定性好, 温度系数小而且稳定, 结构简单, 体积小。

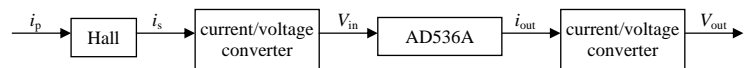


Fig.1 Principle scheme of the true RMS measurement of current  
图 1 电流真有效值测量原理图

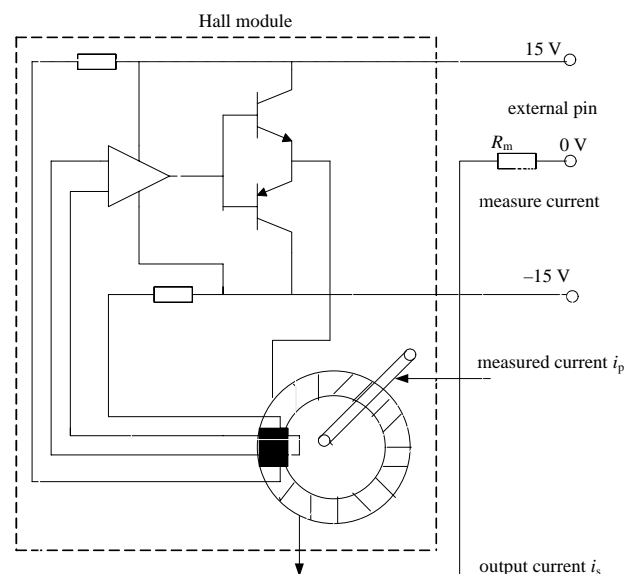


Fig.2 Frame of CHB-50A  
图 2 CHB-50A 结构图

AD536A 包括绝对值电路、平方/除法器、电流镜和缓冲放大器 4 部分<sup>[7]</sup>, 见图 3。输入的直流或交流电压由绝对值电路转换成单极性电流, 使用该电流驱动平方/除法器, 其输出电流可通过 1 个由电阻和外接电容  $C_{av}$  构成的低通滤波器来驱动电流镜。电流镜将反馈 1 个电流给平方/除法器以完成隐含的有效值计算。电流镜产生输出电流可以被直接应用, 也可以通过  $R_2$  转换成电压并被缓冲放大器缓冲以提供 1 个低阻抗的电压输出<sup>[8]</sup>。

为了能更准确地测量输入交流信号的真有效值, 设计时, 在输入端串联一个无极性的电容  $C_{av}$  以禁止输入信号中的直流成分, 在输出端加上 RC 两级滤波器以尽量减少输出信号中的交流成分(即纹波)。图 3 中,  $C_2, R_x, C_3$  与内部输出缓冲放大器构成了双极性滤波器。

### 3 实验结果

在实验中, 分别采用平均值测量法和 AD536A 测量法对信号发生器产生的高频信号有效值进行测量。对正弦波和畸变方波的测量结果见表 1, 输出电流波形如图 4 和图 5 所示, MS/s 表示每秒百万次采样。

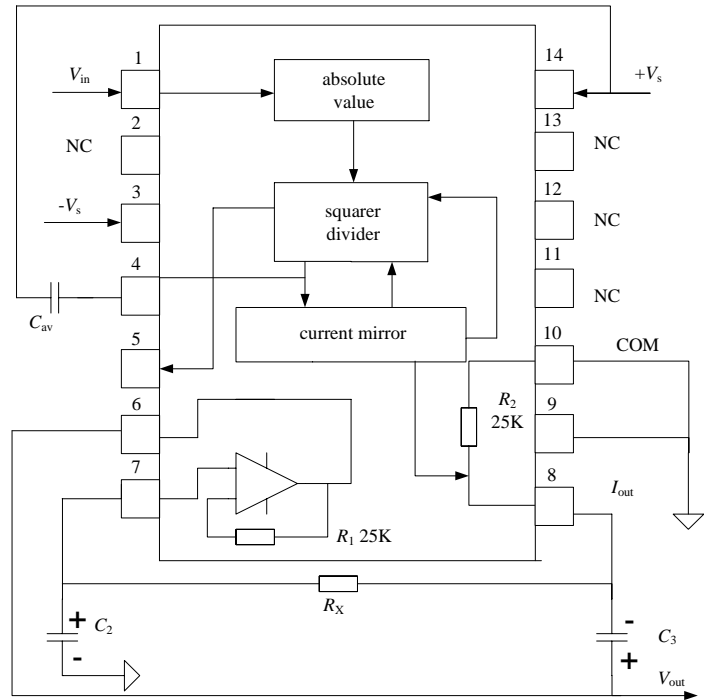


Fig.3 Connection of AD536A  
图 3 AD536A 连接图

表 1 高频信号有效值测量结果

Table1 Result of high frequency signal RMS measurement

measured signal	frequency/kHz	peak value/mV	virtual value/mV	average measure		AD536A measure	
				virtual value/mV	relative error/(%)	virtual value/mV	relative error/(%)
sine wave	44.33	560	396	389	1.77	395	0.25
freak square wave	30.06	968	569	415	27.07	571	0.35

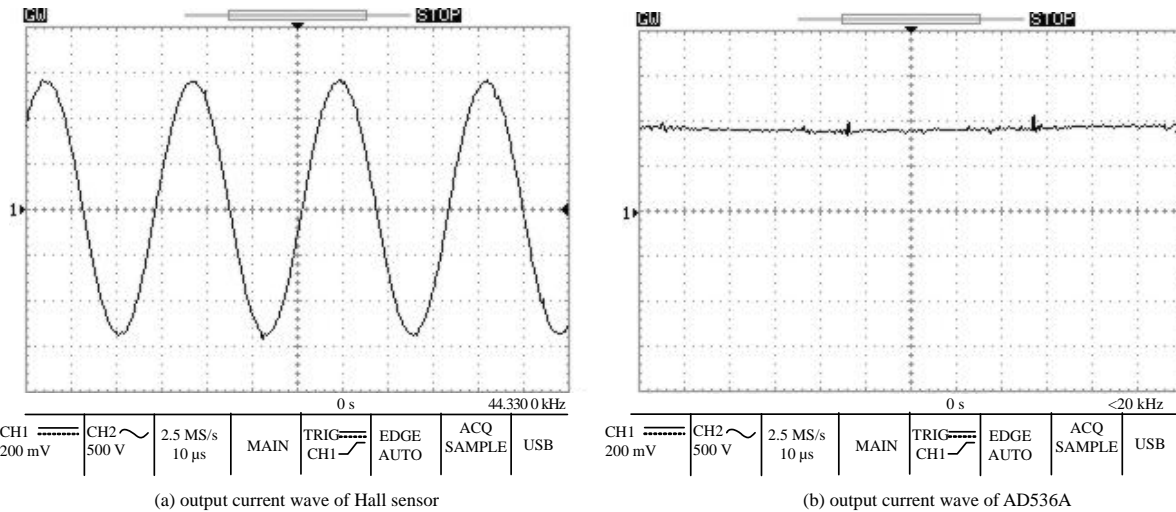


Fig.4 Output current wave when measured signal is sine wave

图 4 被测信号为正弦波时输出电流波形

从测量结果可以明显看出, 当被测信号为较标准的正弦波时, 平均值测量法和 AD536A 测量法测得的有效值与信号的真有效值较接近, 但是, 当被测信号为畸变方波时, AD536A 测量法较平均值测量法有很大的优越性, 平均值测量法产生的测量误差为 27.07%, 而 AD536A 测量法产生的测量误差仅为 0.35%。

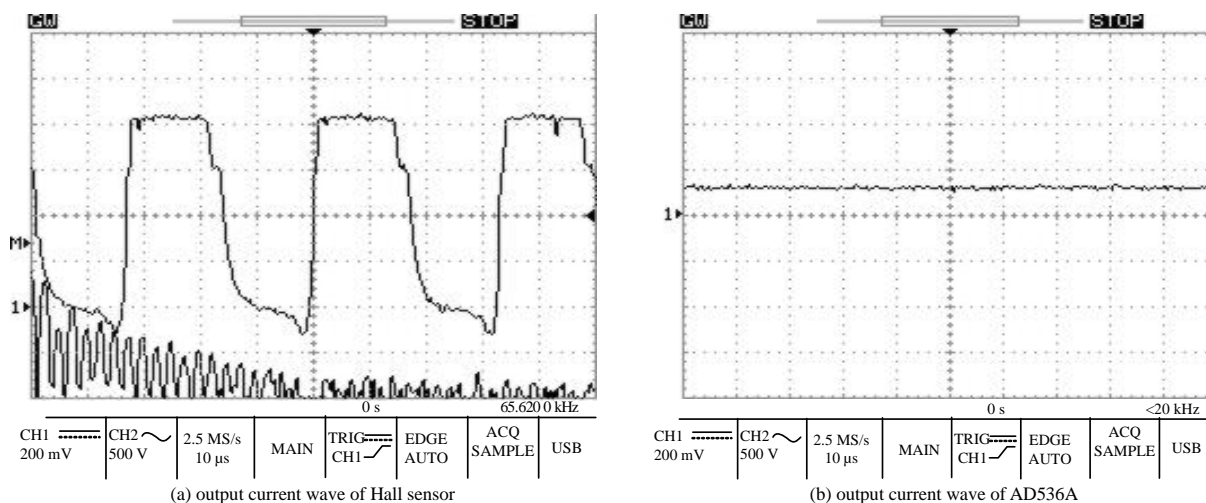


Fig.5 Output current wave when measured signal is freak square wave

图5 被测信号为畸形方波时输出电流波形

#### 4 结论

本文针对传统测量方法和测量仪器在测量非标准正弦信号有效值时存在的问题,提出利用真有效值检测单块集成电路 AD536A 测量真有效值的方法,并设计了电流真有效值检测电路。该电路硬件结构简单,操作方便。实验结果表明,该测量方法和检测电路切实可行,能较好地实现对任意高频信号真有效值的测量。

#### 参考文献:

- [1] 吴正伟,王建勋,纪延超. 任意信号波形真有效值检测的实现[J]. 继电器, 2001,29(12):25-26. (WU Zhengwei,WANG Jianze,JI Yanchao. Realization of measuring TRMS of any signal waveform[J]. Relay, 2001,29(12):25-26.)
- [2] 徐垦. 新型的真有效值数字测量表[J]. 电测与仪表, 2005,42(6):10-12. (XU Ken. A New Digital Measurement Meter for True Effective Value[J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2005,42(6):10-12.)
- [3] 冯乔春. 真有效值的测量及应用[J]. 云南电力技术, 2008,6(3):14-15. (FENG Qiaochun. Measurement and Application of True RMS[J]. Yunnan Electric Power, 2008,6(3):14-15.)
- [4] 徐垦. 交流信号真有效值数字测量方法[J]. 华中科技大学学报, 2006,34(2):51-54. (XU Ken. Digital measurement for true effective value of AC signal[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 2006,34(2):51-54.)
- [5] 杜鹏. 真有效值直流转换芯片 AD536A 在直流点焊微机控制系统中的应用[J]. 国外电子元器件, 2001(11):66-68. (DU Peng. True RMS-to-DC Converter AD536A and Its Application for Spot-Welding Microprocessor Controller[J]. International Electronic Elements, 2001(11):66-68.)
- [6] 赵鹏,李志刚. AD536A 的性能及其应用[J]. 国外电子测量技术, 2004(2):17-19. (ZHAO Peng,LI Zhigang. AD536As Performance and Its Application[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2004(2):17-19.)
- [7] 雷有华,勾秋静,张铁军. AD536A 在液晶屏测试仪中的应用[J]. 电子技术应用, 2001,27(7):75-77. (LEI Youhua, GOU Qiuqing,ZHANG Tiejun. The Application of AD536A in LCD Screen Tester[J]. Application of Electronic Technique, 2001, 27(7):75-77.)
- [8] 张冈,韩艳军,曹汇敏,等. 嵌入式光纤位移传感器信号处理电路的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2005(6):41-42. (ZHANG Gang,HAN Yanjun,CAO Huimin,et al. Design of a Signal Processing Circuit for the Embedded Option Fiber Displacement Sensor[J]. Instrument Technique and Sensor, 2005(6):41-42.)

#### 作者简介:



王小霞(1983-),女,四川省绵阳市人,助理工程师,主要研究方向为测控技术研究.email: wangxx405@caep.ac.cn.

陈练(1972-),男,湖北省武穴市人,高级工程师,主要研究方向为智能仪表及传感器技术研究.

李心耀(1983-),男,江苏省徐州市人,助理工程师,主要研究方向为机电一体化.