

摘要：AD736/AD737 是 AD 公司推出的真有效值直流变换器。和以往的有效值测量技术不同，真有效值直流变换可以直接测得波形的真实有效值，它不是采用整流加平均测量技术，而是采用信号平方后积分的平均技术。采用 AD736/AD737 可以简化仪表设计，增加信号测量品种，并且灵敏度、精确度也大大改善。本文讨论了真 RMS 测量技术的工作原理，并给出了 AD736/AD737 典型应用电路。

关键词：AD736/AD737；真 RMS-DC；测量；仪表

1. 真 RMS-DC 变换器

目前市场上的万用表大多采用简单的整流加平均电路来完成交流信号的测量，因此这些仪表在测量 RMS 值时要首先校准，而这种电路组成的万用表只能用于指定的波形如正弦波和三角波等，如果波形一变，测出的读数就不准确了。真有效值直流变换器不同，它可以直接测得输入信号的真实有效值，并和输入波形无关。

一个交变信号的变化情况可用波峰因数 C (Crest Factor) 来表示，波峰因数定义为信号的峰值和 RMS 的比值： $C = V_{PEAK}/V_{RMS}$ ，不同的交变信号，它的波峰因数也就可能不同，许多常见的波形，如正弦波和三角波，它们的 C 比较小，一般小于 2，而一些占空比的信号和 SCR 信号，它们的峰值因数就比较大。要想获得精确的 RMS 测量结果，如果使用加取平均电路，设计者要事先知道信号的波形，并测得其波峰因数，而 RMS-DC 变换器测无需知道的波号的开

表 1 加权平均技术引入的误差

波形 峰值幅度为(V)	波峰因数 (V_{PEAK}/V_{RMS})	真 RMS 值	采用加权平均电路 所测得有效值	读数误差
无失真正弦波	$1.44(\sqrt{2})$	0.707V	0.707V	0%
直流信号	1.00	1.00V	1.11V	+11.0%
三角波	$1.732(\sqrt{3})$	0.577V	0.555V	-4%
高频噪声 (峰值 98% < 1V)	3	0.333	0.266	-20.2%
单极性脉冲	2	0.5V	0.25V	-50%
	10	0.1V	0.01V	-90%
SCR 波型 占空比为 50% 占空比为 25%	2	0.495V	0.354V	-28%
	4.7	0.212V	0.150V	-30%

* 读数误差率 = $\frac{\text{读数} - \text{真RMS值}}{\text{真RMS值}} \times 100\%$

关就能直接测出各种波峰因数的交变信号的有效值。AD636 能外理的信号的最大波峰因数为 10，附加误差不超过 1%，而 AD736/AD737 能处理的信号波峰因数为 5，表 1 对采用真 RMS-DC 变换器和加数平均两种技术在各种波形下的性能作了对比。

一个交变信号的有效值的定义为：

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [V(t)^2] dt} \quad (1)$$

这时， V_{RMS} 为信号的有效值，T 为测量时间，V(t) 是信号的波形。V(t) 是一个时间的函数，但不一定是周期性的。

对等式的两边进行平方得：

$$V_{RMS}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [V^2(t)] dt \quad (2)$$

右边的积分项可以用一个平均来近似：

$$Avg[V^2(t)] = \frac{1}{T} \int_0^T [V^2(t)] dt \quad (3)$$

这样式 (2) 可以简化为:

$$V_{RMS}^2 = Avg[V^2(t)] \quad (4)$$

等式两边除以 V_{RMS} 得:

$$V_{RMS} = \{Avg[V^2(t)]\}^{1/2} \quad (5)$$

这个表达式就是测量一个信号真实有效值的基础、AD 公司的真有效值直流变换器也正是采用了这一原理。

对式 (4) 两边进行开方得:

$$V_{RMS} = \sqrt{Avg[V^2(t)]} \quad (5)$$

这样就得到 V_{RMS} 另一种表示方法。

中公式 (5) 比公式 (6) 更有应用价值, 因为采用公式 (5) 将使动态范围更宽, 采用公式 (6), 对于一个 100:1 (0.1~10V) 的交流信号, 平方后的输出的变化范围将为 10000:1 (1mV~10V), 而使用

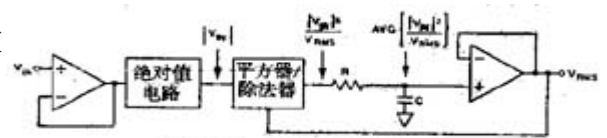


图 1 RMS-DC 变换的原理

路的误差本身就可能超过 1mV, 那么, 准确率就会和信号的幅度有很大的关系: 为了保证一定的精度, 动态范围就要小于 100

图 1 是根据公式 (5) 设计的 RMS-DC 的电路, AD 公司的 AD536、AD636、AD637 和本文介绍的 AD736、AD737 都在内部采用同一种方案。

它的输入级是一个单位增益 (增益为 1) 缓冲器, 在 AD536A、AD636 和 AD637 中, 这个缓冲器是独立的, 可另作它用, 我们可以把它用作变换器的一个高阻抗输入缓冲, 也可以把它作为一个有源滤波器跟在 RMS-DC 变换器自身的滤波器后面, 我们也可以束之高阁, 弃之不用。而在 AD736 和 AD737 中, 这个输入缓冲器只能作为高阻抗放大器使用, 并且在内部已按需要的连线接好。

第二部分就是绝对值电路, 绝对值电路就是一个高精度的全波整流器, 绝对值电路的输出接至一个平方/乘法器。平方乘法器对输入信号进行平方运算, 然后用 RMS-DC 变换器的输出去除, 就可实现式 (5) 要求的功能。

2. RMS-DC 变换器的选型考虑

虽然真 RMS-DC 变换器可以测出任意波形交流信号的有效值, 但是不同型号的 RMS-DC 变换器可以测量的交流信号最大有效值和最大波峰因数也不相同, 到目前为止还没有一种能适用于任何场合的 RMS-DC 变换器, 在实际应用中我们要尽可能地选择和应合适型的型号, 这样, 我们就地精度、带宽、功耗、输入信号电平、波峰因数和稳定时间因素综合考虑。

AD637 可测量的信号有效值可高达 7V, 也是 AD 公司 RMS-DC 产品中精度最高、带宽最宽的, 对于 $1V_{RMS}$ 的信号, 它的 3dB 带宽 8MHz, 并且可以对输入信号的电平以 dB 形式指示, 另外, AD636 还具有电源自动关断功能, 使得静态电流从 3mA 降至 45μA。

AD736 和 AD737 主要用于便携测试仪表，它的静态功耗电流小于 200 μ A，可接受的信号有效值为 0~200mV，（如加上衰减器增大测量范围，后面详述）AD737 也有一个电源关断（Power-down）输入，允许用户把电流从 160 μ A 降至 40 μ A，从而降低功耗。表 2 对 AD637、AD736、AD737 的特性作了简单的比较。从比较中可以看出，AD637 的性能更好，它的精度、动态范围、波峰因数在一定时间诸参数都很好，而且的退频带最宽（参见表 3）。

表 2 RMS-DC 变换器选型指南

型号	变换精度 $\pm mV \pm \% 读数$	最大功耗	允许的连续输入 信号的 V_{max}	波峰 因数	相对稳 定时间	说 明
AD637J AD637K	$\pm 1mV \pm 0.5\%$ $\pm 0.5mV \pm 0.2\%$	3mA @ $\pm 15V$	7 @ $V_S = \pm 15V$	≤ 10	快	精度最高，通频带最宽
AD736A/J AD736B/K	$\pm 0.5mV \pm 0.5\%$ $\pm 0.3mV \pm 0.3\%$	0.2mA @ $\pm 5V$	1 @ $V_S = \pm 5V$	≤ 3	慢	低成本、低功耗，带输出缓冲器
AD737A/J AD737B/K	$\pm 0.4mV \pm 0.5\%$ $\pm 0.2mV \pm 0.3\%$	0.6mA @ $\pm 5V$	1 @ $V_S = \pm 5V$	≤ 3	快	低成本、低功耗，不带输出缓冲器

表 3 RMS-DC 变换器的带宽和精度

带宽(KHz)(误差为 1%)	AD637	AD736		AD737	
		PIN 1	PIN 2	PIN 1	PIN 2
$V_m = 1mV$	NA	1kHz	1kHz	1kHz	1kHz
$V_m = 10mV$	NA	6kHz	6kHz	6kHz	6kHz
$V_m = 20mV$	11kHz	NA	NA	NA	NA
$V_m = 200mV$	66kHz	90kHz	33kHz	90kHz	33kHz
3kHz 带宽					
$V_{in} = 1mV$	NA	5kHz	5kHz	5kHz	5kHz
$V_{in} = 10mV$	NA	55kHz	55kHz	55kHz	55kHz
$V_{in} = 20mV$	150kHz	NA	NA	NA	NA
$V_{in} = 200mV$	1000kHz	400kHz	190kHz	400kHz	190kHz

如果要求精度调，对大幅度信号和变化快信号的响应速度快，就应选择 AD637。AD637 的响应时间和信号幅度无关，而 AD736 和 AD737 的响应时间在平均电容器电容值恒定的条件正，直接取决于信号电平。信号幅度愈小，响应时间愈长，信号幅度愈大，时间愈短。

尽管 AD736、AD737 的带宽比 AD637 要小，但是对于小信号（10mV），它们的性能更好，而且功耗小。它们也可作为一种通用器件去代替加权平均方案中的运放电路和整流器电路。另外，AD736 和 AD737 都具有着断功能。

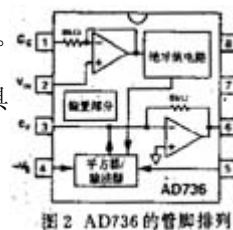


图 2 AD736 的管脚排列

3. AD736、AD737 的工作原理

为了更好的理解 AD736 的工作原理，首先给定了 AD736 的管脚排列（如图 2 所示），随后结合平均电容 C_{AV} 和滤波器 C_F ，画出它的框图（如图 3 所示），以便使其信号流向更清楚。

AD736 和 AD737 的输入是通过一个用作单位增益缓冲器（具有 FET 输入）的运放来引入的。这个缓冲器有两种用法，一种是用作高阻抗输入缓冲器（通过 PIN2 引入被测信号），另外一种就是用作低阻抗输入缓冲器（通过 PIN1 引入被测信号）。用作低阻抗输入是，可提供的动态范围要比用作高阻抗缓冲时宽，所需输入电流小，适于要求高输入阻抗的应用场合。

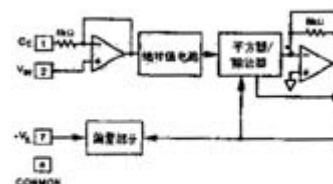


图 3 AD736 的简化框图

这个缓冲器的输出接至全波整流器即绝对值电路，反过来，全波整流器的输出又接至一个平方器/除法器，此平方/除法器输出又接至作为电流-电压变换器的运放的反相输入端（引脚 3）。这样，可以在引脚 3 和引脚 6（输出）之间跨接一个电容，这个电容和内部 8k Ω 反馈电阻并联组成一个有一个极点的低通滤波器。

AD737 在内部设计和功能上和 AD736 相似，只是省去了输出缓冲器，参见图 4 和图 5。省去这个缓冲器的目的是为了降低功耗，而且由于 AD737 具有关断功能，可进一步降低功耗。它的输出部分就是一个简单的带 8k Ω 负载电阻的集电极开路的 NPN 型三极管。

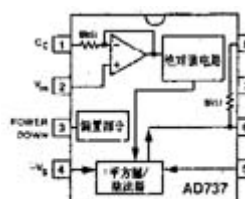


图 4 AD737 的管脚排列

AD736 和 AD737 所需的平均电容 (C_{AV}) 跨接在脚 4 ($-V_S$) 和脚 5 (C_{AV}) 之间，这样电容 C_{AV} 就是跨接在 RMS 核心元件中的三极管的基极发射极之间。这就意味着和平均电容 C_{AV} 并联的电阻是

