

Trailokya Rai, Marcoo Zamora

基准电压的长期漂移

电网监测和远程现场传感器等多种工业应用都需要能够长时间高精度工作的仪器。对于此类寿命较长的使用案例，基准电压的长期漂移 (LTD) 参数就变得至关重要。本应用手册介绍了长期漂移参数及其影响因素和测量方法，并提供了一些 TI 精密电压基准样本。

内容

基准电压的长期漂移.....	1
1 长期漂移.....	2
2 长期漂移数据表测量.....	2
3 长期漂移误差.....	3
4 封装和复合模应力.....	3
5 测试设置.....	5
6 温度影响.....	5
7 长期漂移估算.....	7
8 最小化 LTD 影响的方法.....	7
9 参考资料.....	8

插图清单

图 2-1. REF34-Q1 的长期漂移数据表表格示例.....	2
图 4-1. 引线框横截面.....	3
图 4-2. REF34 - VSSOP 封装 LTD.....	4
图 4-3. REF34 - SOT23-3 封装 LTD.....	4
图 4-4. REF7025 - FHK 封装 LTD.....	4
图 5-1. LTD 油浴设置.....	5
图 6-1. REF50 - VSSOP 封装 LTD 35°C.....	6
图 6-2. REF50 - VSSOP 封装 LTD 85°C.....	6
图 7-1. REF50 - 带估值的 VSSOP.....	7

表格清单

表 3-1. REF34-Q1 SOT23-3 误差细分表.....	3
------------------------------------	---

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 长期漂移

基准电压是信号链的关键部分，如果未仔细考虑各种误差源，基准电压则可能会影响性能。电压基准的输出随温度、输入电压、负载电流和时间而变化。本应用手册重点介绍了输出电压因老化，即长期漂移 (LTD) 或长期稳定性导致的随时间变化的偏差。LTD 是工业和汽车应用中的一个关键参数，在这些应用中，系统在其使用寿命内不会定期校准。随着时间推移，LTD 导致的误差会超过所有其他误差。因此，如何为数据表测试和规定参数非常其重要。

2 长期漂移数据表测量

电压基准的长期漂移 (LTD) 以定量的方式洞察其长时间内的输出行为。[长期漂移公式](#)显示了通常如何在数据表电气特性表中定义长期漂移。

$$LTD_{tn}(\text{ppm}) = \frac{(VOUT_{t0} - VOUT_{tn})}{VOUT_{t0}} \times 10^6 \quad (1)$$

其中：

- $VOUT_{t0}$ = 测量开始时的输出电压。该测量是在焊接后立即完成的。
- $VOUT_{tn}$ = 第 n 小时的输出电压

在此测量期间，基准通电 n 小时。

然后，根据测试时间和测量时间将结果值记录在数据表中[图 2-1](#)。。LTD 未经生产测试，因此指定的值是典型值，会因设备而异。在数据表的典型特性图中可以找到变化的例子。该表显示了 DBV 封装在同一连续测试中两个时间范围（即第一个 1000 小时和下一个 1000 小时，总共 2000 小时）内的两个 LTD 值。

Long-term stability	DBV package	0 – 1000 hours at 35°C	25	ppm
		1000 – 2000 hours at 35°C	10	
	DGK package	0 – 1000 hours at 35°C	25	

图 2-1. REF34-Q1 的长期漂移数据表表格示例

电气特性表中的 LTD 规格可用于计算一般误差，但数据表中的图形显示了随时间变化的实际趋势。图表说明，漂移在单元与单元之间的值或方向都不一致，但一般来说，漂移随着时间的推移而减慢。LTD 主要来自机械应力和老化，因此随着封装、焊接和芯片材料越来越稳定，漂移也越来越缓慢。

3 长期漂移误差

多种应用都要求系统长时间运行而无需定期校准。在这些情况下，LTD 可能是误差预算中的主要因素之一。[REF34-Q1 增益误差细分表](#)比较了 REF34-Q1 的各个误差。有关基准电压所有误差源的更多详细信息，请参阅《[数据转换器的电压基准设计技巧](#)》应用手册。

表 3-1. REF34-Q1 SOT23-3 误差细分表

参数	误差 (ppm)	来源	备注	误差减小方法	占比 (%) (未校准)	占比 (%) (初步校准)
初始精度	500	数据表最大值		在 25°C 下校准	27.4%	0%
焊接移位	100	数据表典型值		在 25°C 下校准	5.49%	0%
温度偏漂	990	数据表最大值	6ppm/C × (125 - (-40))°C = 990ppm	跨温度校准	54.3%	80.9%
长期漂移	234	数据表典型值	根据 10 年值的保守估计	LTD 移位 = 25 × sqrt(hr/1000)	12.8%	19.1%

在此示例中，由于 SOT23-3 的 REF34 具有低 LTD，系统的生命周期非常长，故在未校准的情况下，234ppm 处的 LED 成为第三大误差。可以在信号链中实施初始校准，从而减少校准温度下基准电压的误差。在 [REF34-Q1 增益误差细分表](#)中，初始校准减少了 25°C 和焊后偏移时存在的误差。如果进行了初始校准，LTD 便会成为第二大误差。使用典型值计算得出 10 年 LTD 值，再通过公式，得出一个保守值。

在相同温度和电气条件（电源电压、负载）条件下，输出电压随时间变化的主要原因是电压基准芯片上的应力变化。压电结效应解释了带隙上的机械应力改变了晶体管和电阻器的基极至发射极电压 (VBE)，从而导致基准输出电压上漂移。封装、塑封、PCB 设计和环境湿度是导致此应力变化的主要因素。

4 封装和复合模应力

在塑料封装组装中，用环氧树脂将芯片固定在芯片垫上，引脚连接到引线框，如 [图 4-1](#) 中所示。然后，液态复合模材料填充封装模来制成封装。复合模从液态冷却到固态，然后从底座上切下封装好的设备。由于固化工艺，复合模会随着时间推移而沉降，因此芯片上的总应力也会随着时间推移而变化，从而导致输出电压漂移。封装复合物、组件以及任何可对芯片产生应力的元件都会影响长期漂移。

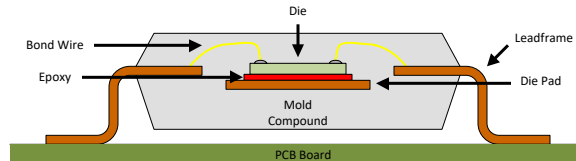


图 4-1. 引线框横截面

相同芯片使用的封装尺寸越大，观察到的 LTD 就越小。与小型芯片相比，大型芯片封装中的器件应力变化率较小，因而 LTD 较小。在此示例中，VSSOP 中的 REF34 封装更大，并且由于 VSSOP 对 REF34 芯片施加的应力较小，因此其 LTD 比 SOT23-6 中的 REF34 更好。

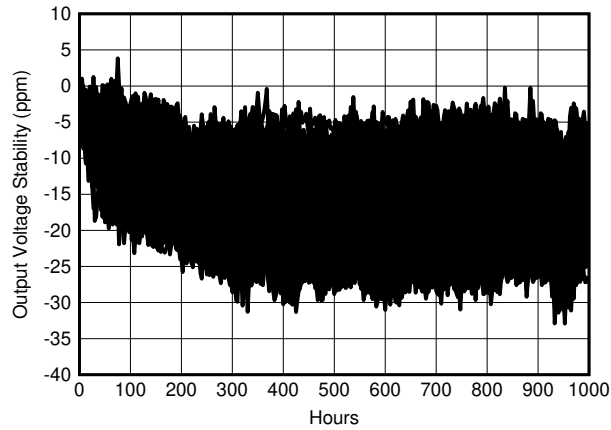


图 4-2. REF34 - VSSOP 封装 LTD

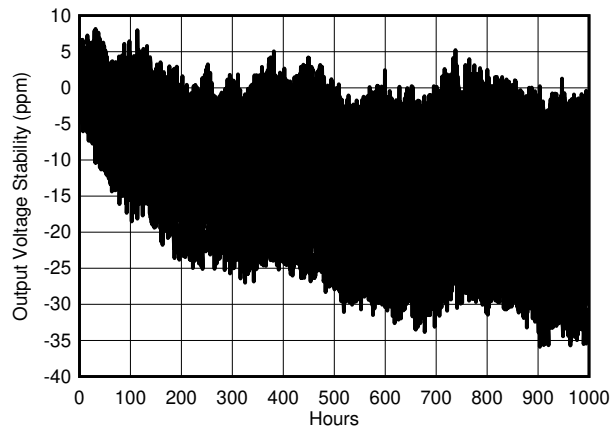


图 4-3. REF34 - SOT23-3 封装 LTD

陶瓷封装所用的材料和组装工艺与塑料封装不同。在陶瓷封装的器件中，芯片密封在两个陶瓷板之间。陶瓷板封装无需固化，且填充材料对应力的影响最小。因此，陶瓷（密封）封装通常具有最佳的 LTD 性能。图 4-4 显示了 LTD 对 REF70 封装的影响。

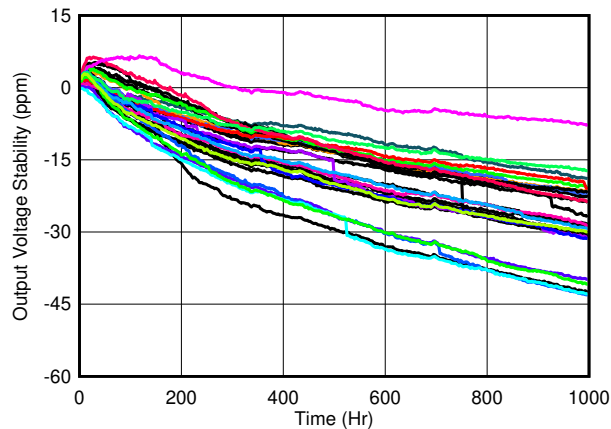


图 4-4. REF7025 - FHK 封装 LTD

5 测试设置

TI 采用完全自动化的多站点平台设置来完成 LTD 测试。图 5-1 中显示了一个设置示例。PCB 组装采用回流焊接完成，以模拟确切的应用板条件并在所有器件上获得均匀的焊接应力曲线。PCB 板和器件都是全新的，没有预先经过烘烤。油浴用于提供非常稳定的温度（偏差为 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ ）环境。所有器件始终通电。所有基准的输出每半小时用 8.5 位数字万用表（DMM）测量一次。DMM 在每次测量周期前进行校准。平台设置上的所有误差源均根据 Fluke732B 电压标准进行校准。LTD 油浴高于室温（ 35°C ），以免因室温变化而引起的任何问题。



图 5-1. LTD 油浴设置

6 温度影响

在典型器件的 LTD 曲线中，大多数偏差都出现在前 100 小时内。在最初的 100 小时内，由于模具固化，设备则发生巨大变化。随着时间推移，模塑会固化，复合模的影响会降低。器件的 LTD 将会“稳定”下来，但由于芯片可能受到的其他应力，例如 PCB 应力，LTD 会继续增加。图 6-1 显示了 1 年的 REF50 LTD 偏差。1 年（8760 小时）后，REF50 的偏差为 60ppm，其中大多数偏差都出现在最初的 1000 小时内。

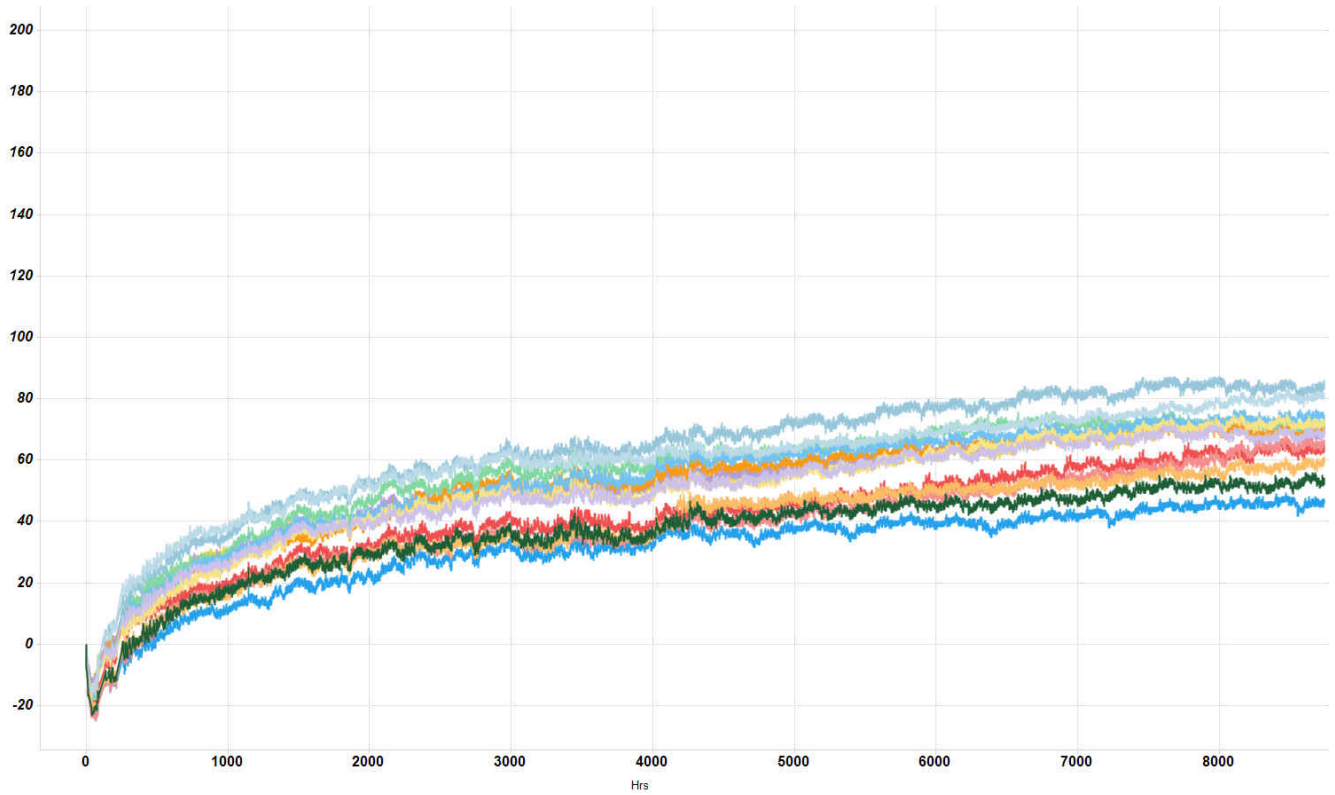


图 6-1. REF50 - VSSOP 封装 LTD 35°C

温度会加速应力沉降因子，因此 LED 曲线在较高的温度条件下会更早地在低漂移系数内稳定下来。在图 6-2 中，在 85°C 的温度下，时，100 小时后，LTD 曲线稳定下来。400 小时后，REF50 趋于平坦而稳定，偏差最小。达到稳定行为所需的时间因设备而异。

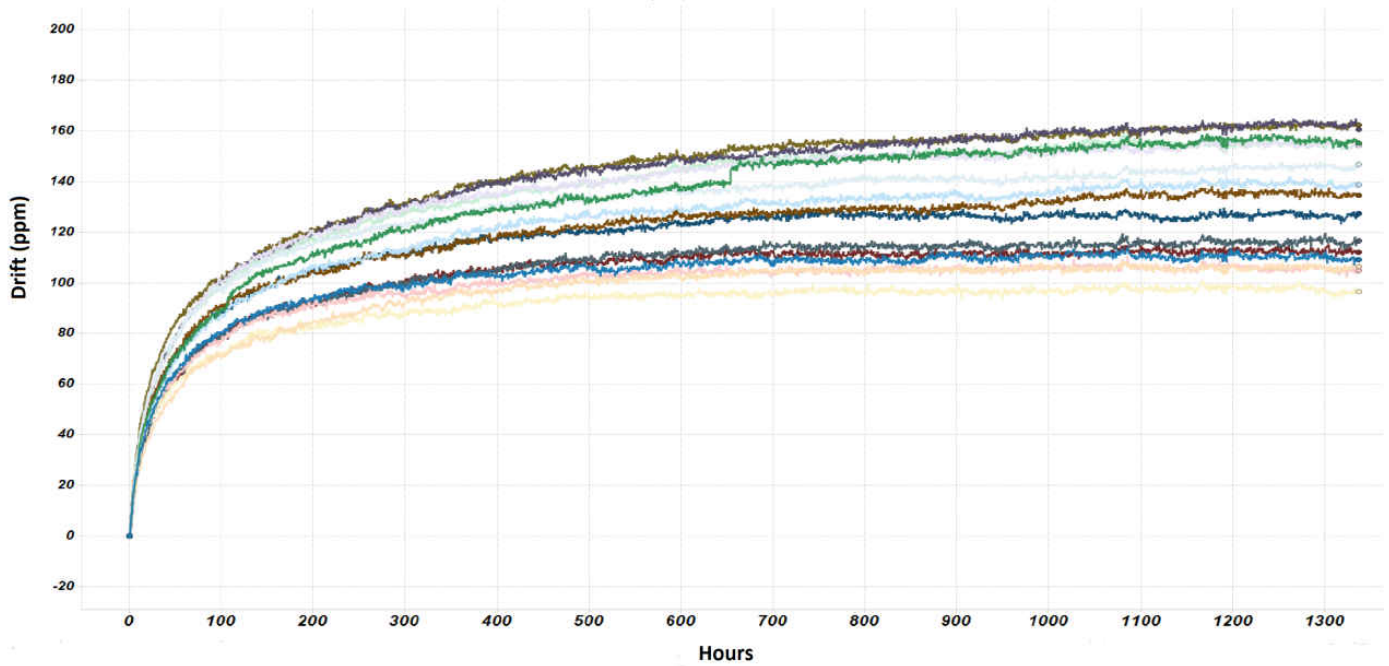


图 6-2. REF50 - VSSOP 封装 LTD 85°C

7 长期漂移估算

长期漂移测试的时间范围可从 1000 小时到更长。该测试非常耗时，并可能会因设备校准、设备故障和环境原因而出现测试问题。因此，能够估计设备在整个系统使用寿命内（可能长达 10 年）的行为非常重要。难点在于器件的非线性行为在不同器件之间以及不同产品之间并不一致。

有关估算很长时间内 LTD 的一种常见方法，请参阅 Marek Lis 的《IC 长期稳定性：《IC 长期稳定性：唯一不变的是变化》。该文章讲述的长期估算可用于估算很长时间内的 LTD。图 7-1 显示了接近 1000 小时的方程的精度。该公式的主要缺点是，从 4000 小时到 8760 小时，该公式会从典型值变为超过 10 年（87600 小时）的高估值。这是因为 REF50 无法表征的趋稳行为。不同的基准电压具有不同的行为，并且可能会因为其趋稳行为而与公式不匹配。该公式在对 LTD 进行保守估计方面非常有用，但它也确实存在限制。

$$\text{LTD}(\text{hr}) = \text{LTD}(\text{1khr}) * \sqrt{\frac{\text{hr}}{1000}} \quad (2)$$

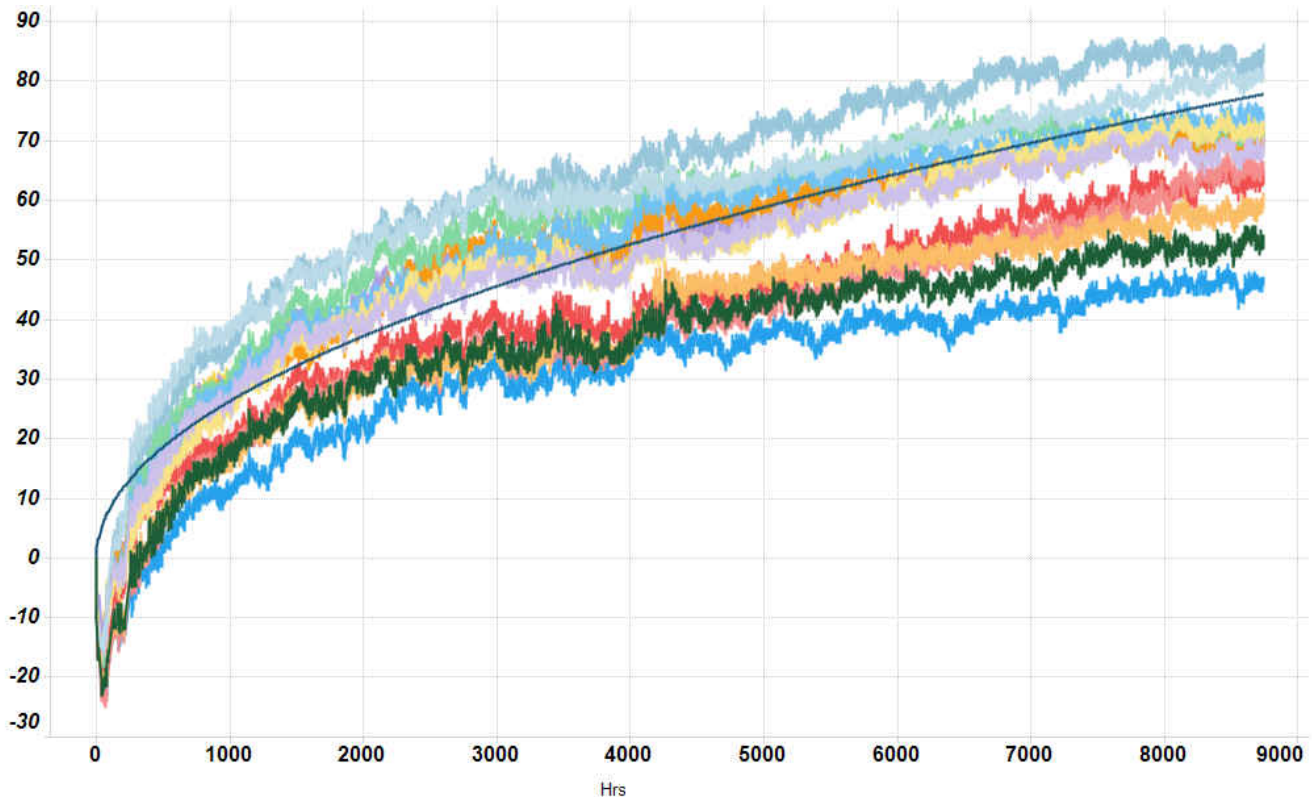


图 7-1. REF50 - 带估值的 VSSOP

8 最小化 LTD 影响的方法

可通过以下方法来最小化 LTD 对系统的影响：

- 校准前在通电状态下烧烤设备，以消除最初几小时内出现的较大偏差。
- 如果要求精度高，建议进行常规校准。
- 如果无法进行常规校准，请尽可能推迟第一次校准时间，以便让器件老化。最好就在现场安装或调试之前校准。

9 参考资料

- [IC 长期稳定性：唯一不变的是变化 - TI E2E](#)
- [低漂移带隙基准电压](#) - Fabiano Fruett、Gerard C.M.Meijer、Anton Bakker
- [基准电压的长期特性](#) - Hubert Halloin、Peirre Prat、Julien Brossard

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司