

### 使用 32 KHz 晶振的典型温度特性补偿 M41T83 和 M41T93 串行实时时钟

#### 前言

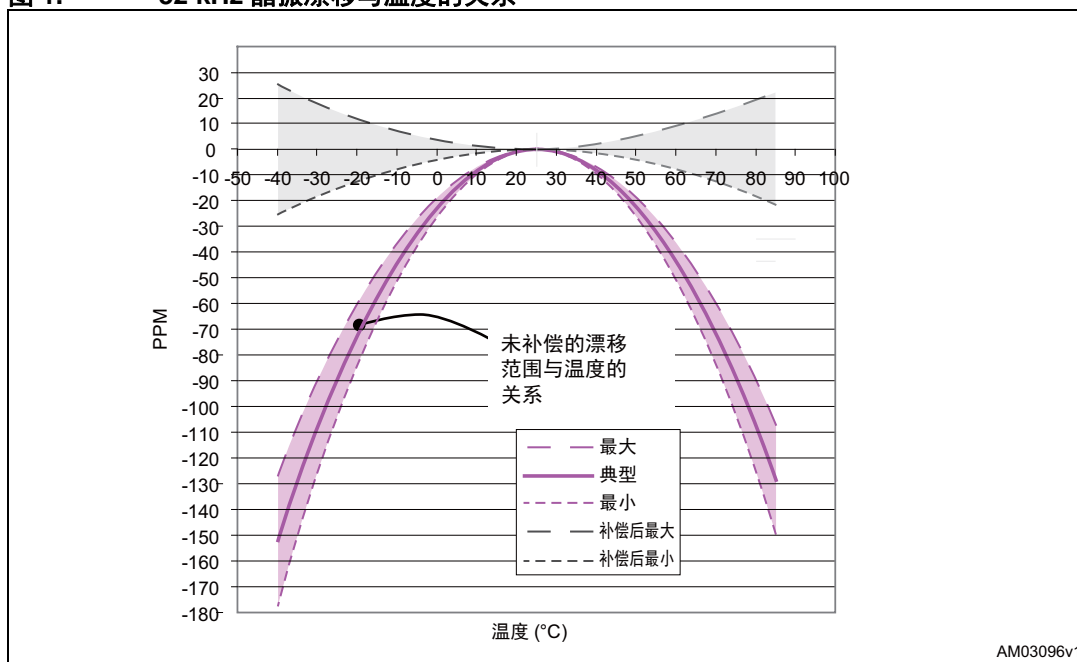
典型的实时时钟采用 32 KHz 音叉晶振。虽然非常适合于电池供电应用的低功耗需求，但这些晶振会在  $-40$  至  $+85^{\circ}\text{C}$  的整个工业温度范围内显著漂移。在极端温度下，漂移有时可达到  $-108$  到  $-177$  的百万分率 (ppm)，每月损失约 5 至 8 分钟。可以实现全温度补偿，但成本较高。然而，通过简单的技术即可大大改善漂移，从而在不显著增加成本的同时提高 RTC 的计时精度。

我们已经知道了音叉晶振温度曲线的一般形状，所以可以在使用温度传感器的应用中制定这样的补偿方案。

如图 1 下图所示，在接近底部的阴影部分，当温度接近极限时，32 KHz 晶振的精度明显降低。该区域中间的粉色线被认为是典型的行为。如果振荡器按照预期或典型曲线进行调整，精度接近该图顶部示出的阴影区域，接近  $\pm 25\text{ppm}$  的范围，每月 1 分钟左右，达到更合适的精度范围。从本质上讲，这种技术将底部阴影区域移动，并将其沿温度轴拉直。

在许多应用中，这种级别的精度即可满足要求。本文介绍了如何实施这样的补偿方案。

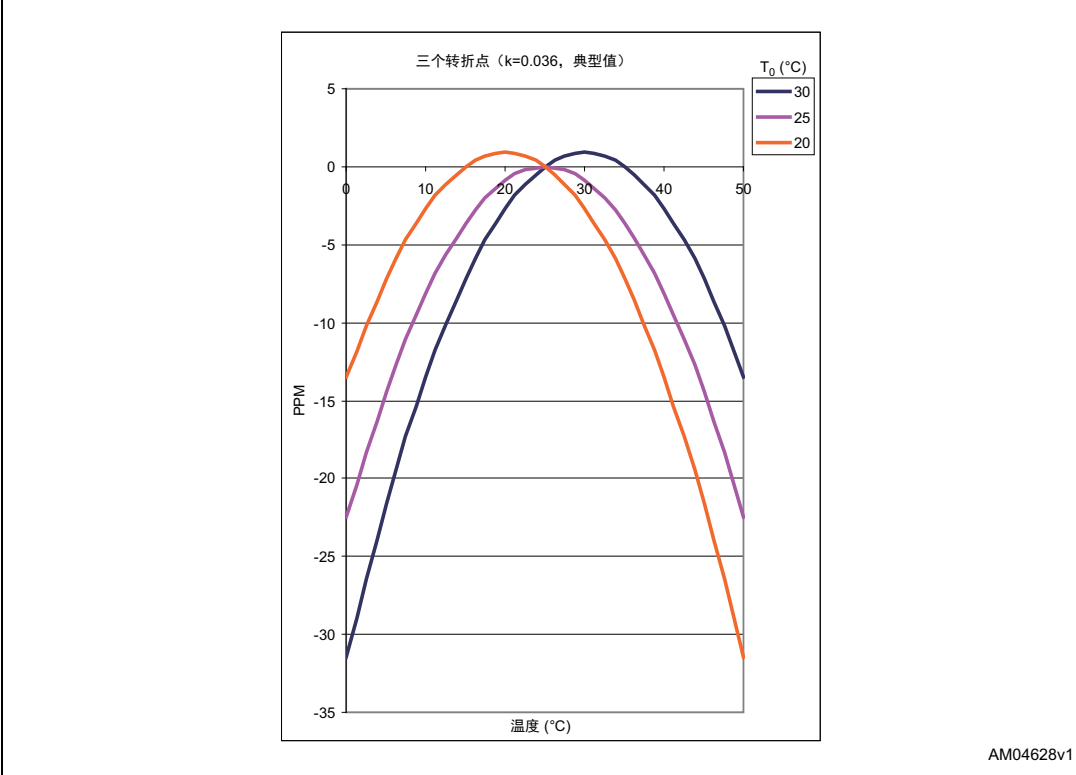
图 1. 32 kHz 晶振漂移与温度的关系



# 1 其他注意事项

转折点是晶振处于最高频率的温度。这是温度抛物线的最大值或最高点，称为  $T_0$ 。在图 1 中，假定转折点为 25 °C。实际上对于大多数 32 KHz 晶振，范围在 20 到 30 °C 之间。

图 2. 在 25 °C 下校准到 0 ppm 后三个不同转折点的典型温度曲线



在 M41T83 和 M41T93 的工厂校准中，振荡器频率被调整，直到器件在 25 °C 下非常接近 0 PPM。这会导致温度曲线上下移动。

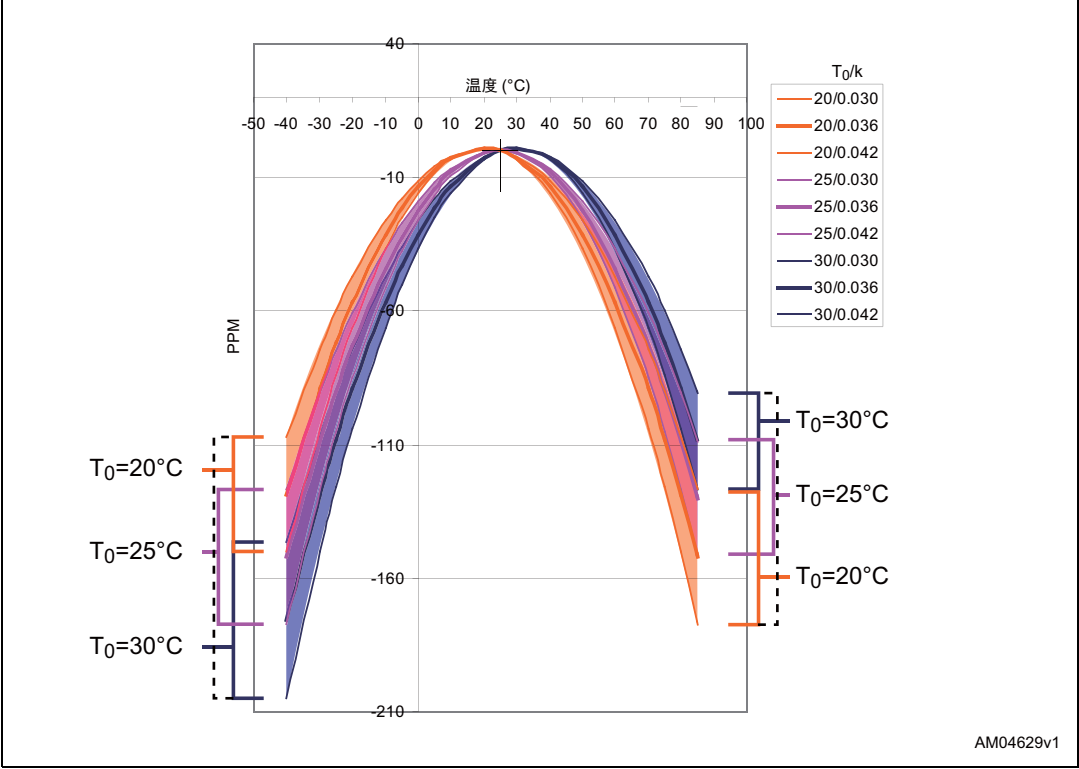
如果转折点是 20 °C，工厂校准之后，器件将在 25 °C 下将达到 0 PPM，但在 20 °C 下运行速度最快。这由橙色曲线显示。

类似地，如果转折点是 30 °C，工厂校准之后，器件将在 25 °C 下达到 0 PPM，但在 30 °C 下运行速度最快。这由蓝色曲线显示。

因此，温度转折点会随着校准上下移动，但仍保持在相同的温度。

当最大值和最小值都包含在所有三个转折点中时，即可获得 图 3 曲线。粉红色区域与以前 图 1 中相同，代表 25 °C 转折的最小和最大情况。在 图 3 两边的粉红色括号有助于说明这一点。

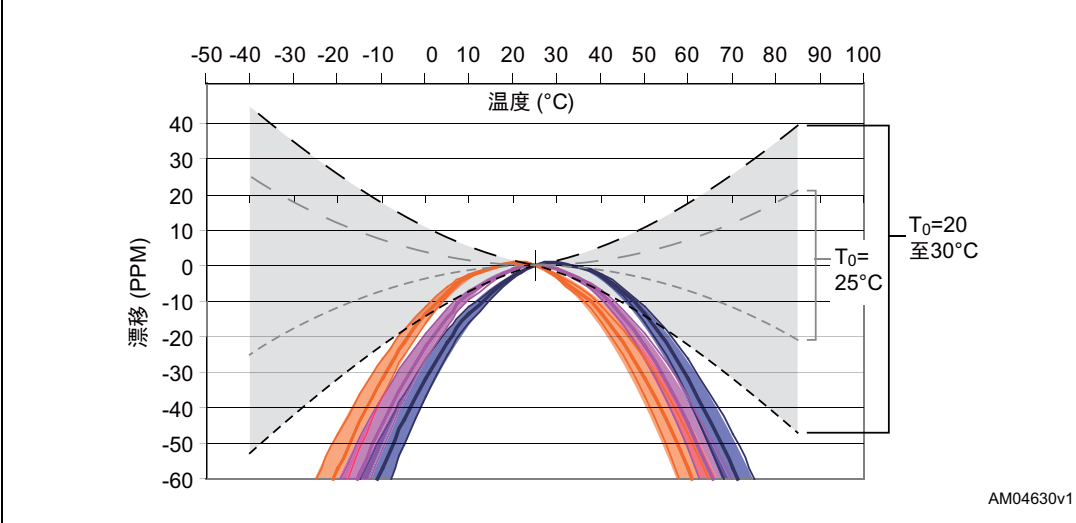
图 3. 三个转折点的漂移范围



蓝色阴影区域涵盖了 30 °C 转折点的最小和最大情况，橙色阴影区域涵盖了 20 °C 转折的最小和最大情况。漂移的整个范围由黑色虚线指示，并且是这三种情况的总和。

为了本应用笔记的目的，考虑转折点的最终结果是极端温度下漂移的不确定性增加。不确定性增加后，图 1 顶部显示的拉直的不确定区域成为下方的图 4。

图 4. 补偿后的漂移范围



在图 4 中，黑色虚线表示补偿后漂移的整个范围。如前所述，在图 1 中，灰色区域表示沿着温度轴线拉直后的抛物线。

补偿后，在 -10 至 +50 °C 的范围内，漂移应不低于 ±20ppm，对于以下温度，在灰色虚线所示范围内一般小于 ±10ppm  $T_0 = 25^\circ\text{C}$

### 晶振公式

音叉晶振的漂移通过下面的公式说明。

$$\frac{\Delta f}{f_0} = -k \cdot (T - T_0)^2$$

这里，漂移被表示为标称频率  $f_0$  的分数。工厂校准会调整  $f_0$  到 32768Hz 之间的误差。 $T_0$  是转折点，而  $T$  是温度，单位为摄氏度。 $k$  是在 0.030 到 0.042 范围内的一个常量，典型值为 0.036。在绘制后，该公式的曲线如图 1 到 4 所示。图 1 中的典型情况是  $k = 0.036$ 。 $k$  的其他值给出了最小和最大值（虚线）曲线。

## 2 应用理论

如图 5 所示，32 KHz 晶振的典型温度特性由抛物线说明。远离中心点，在高于和低于 25 °C 的温度下，晶振倾向于以更低的频率运行。从曲线可以得出一个表，通过该表，用户可以查找给定温度下时钟的近似漂移（百万分率或 PPM）。因此，如果应用可以测量温度，它就可以预测实时时钟的漂移，并通过调整 RTC 的校准电路相应地进行补偿。

M41T83 和 M41T93 采用模拟校准电路，该电路可通过添加或移除电容来调整振荡器的频率。负载电容与频率之间的非线性关系如图 7 的曲线所示。

需要注意的是，由于曲线是非线性的，振荡器 PPM 中的增量变化随着曲线上的位置而变化。也就是说，电容的小变化在曲线上的一个点对 PPM 的影响与另一个点不同。因此，为了确定要添加或去除多少增量电容才能获得需要的 PPM 移位，用户必须首先确定器件运行在曲线上所处的点。

在 M41T83 和 M41T93 的情况下，在内嵌晶振封装中，一个工厂校准值被编程到一个可以由应用读取的永久（一次性可编程）寄存器。这提供了校准流程的起点。它指示了器件在室温下运行在曲线上所处的点。

总之，图 5（在图 6 中列为表格）告知用户给定温度所需的校准 PPM。图 7 和图 8 允许用户确定实现所需的 PPM 偏移必要的负载电容设置。

### 3 示例

第一步是确定温度。这反过来又被用于查找预期漂移量，如步骤 2 所示。要做到这一点，最简单的方法是使用如 [图 6](#) 所示的表，显示在 58 °C 下的预期漂移为 -43 ppm。因此，振荡器应在相反的方向上调整 43ppm。

在步骤 3 中，工厂校准值被用作 [图 7](#) 中电容 ppm 曲线上的起始点。0x14 的出厂校准值对应于一个 +5 pF 的电容（在标称 12.5 pF 以上）。这对应于 -7.78 ppm，如 [图 8](#) 所示。增加 43 ppm，达到 +35.22 ppm。因此，电容必须被除去，以加快振荡器速度。

在步骤 4 中，用户在 [图 8](#) 的列表中找到最接近 35.22 的 ppm 值。在这种情况下，即 34.97 ppm，需要 0xA9 的模拟校准值（对应于 -10.25 pF）。然后该值被放入用户模拟校准寄存器的地址 0x12，由于 OTP 位已被清零（地址 0x13），因此器件将被强制采用用户模拟校准值代替工厂校准值。

这导致振荡器以稍微不同的速度运行，反过来这又有助于其在环境温度下保持时间更准确。

通过周期性地执行此流程，应用可以将计时精度保持在可接受的水平上。

使用这几个简单的步骤，用户可以大大提高其 M41T83 和 M41T93 实时时钟器件的计时性能。

图 5. 32 kHz 晶振曲线， PPM 与温度的关系

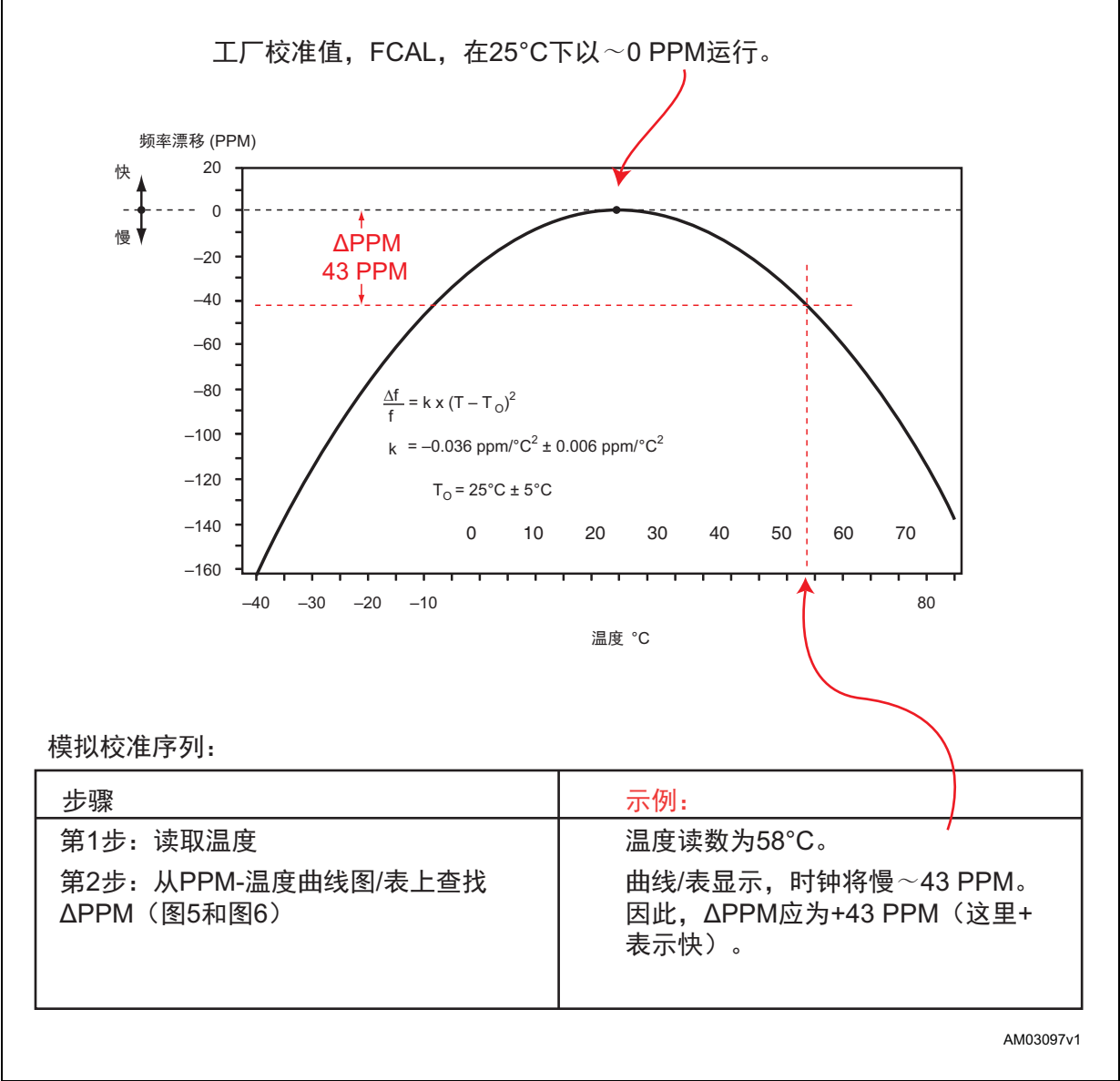
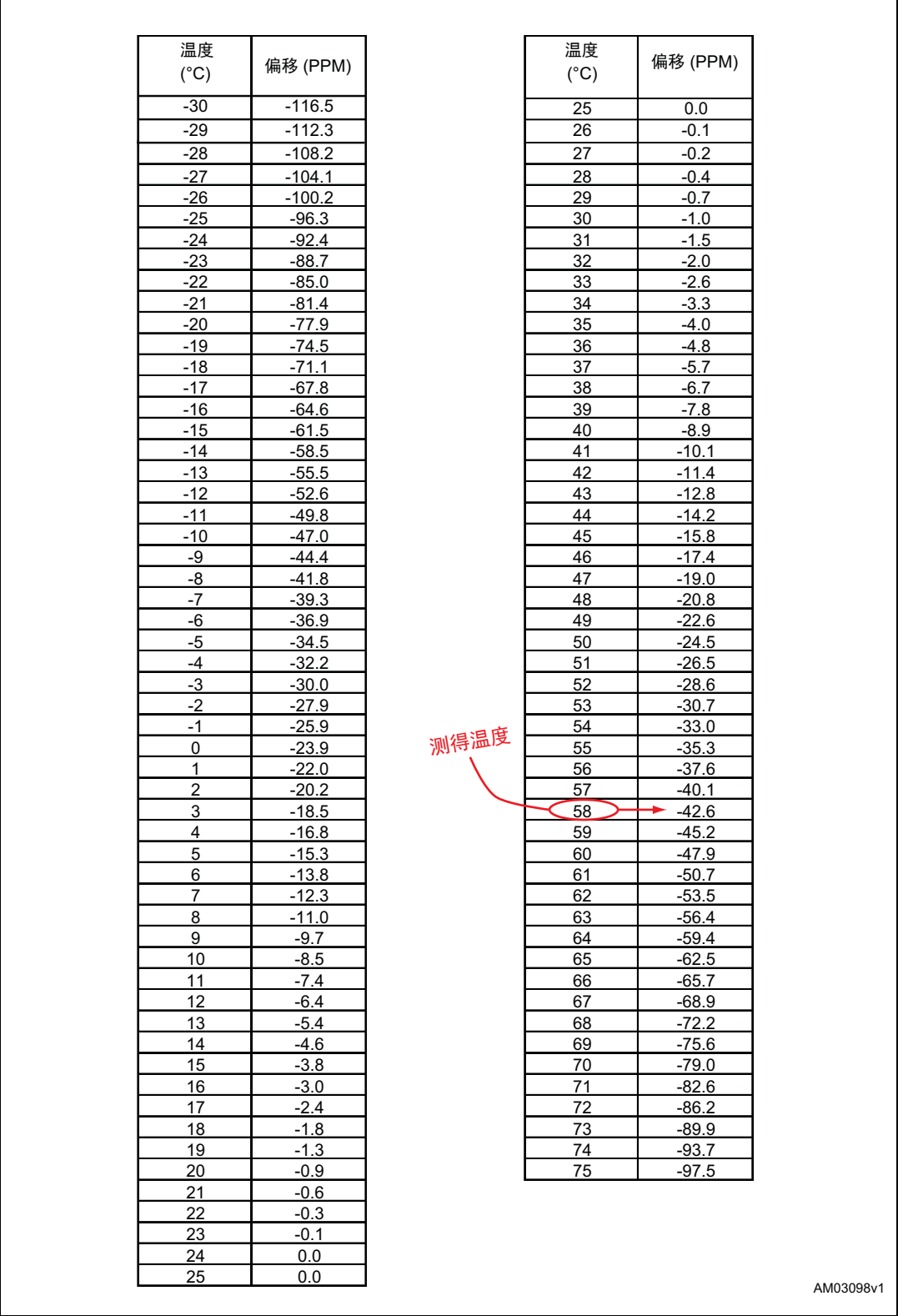


图 6. 漂移与温度的关系



AM03098v1



图 7. 典型振荡器精度与负载电容的关系

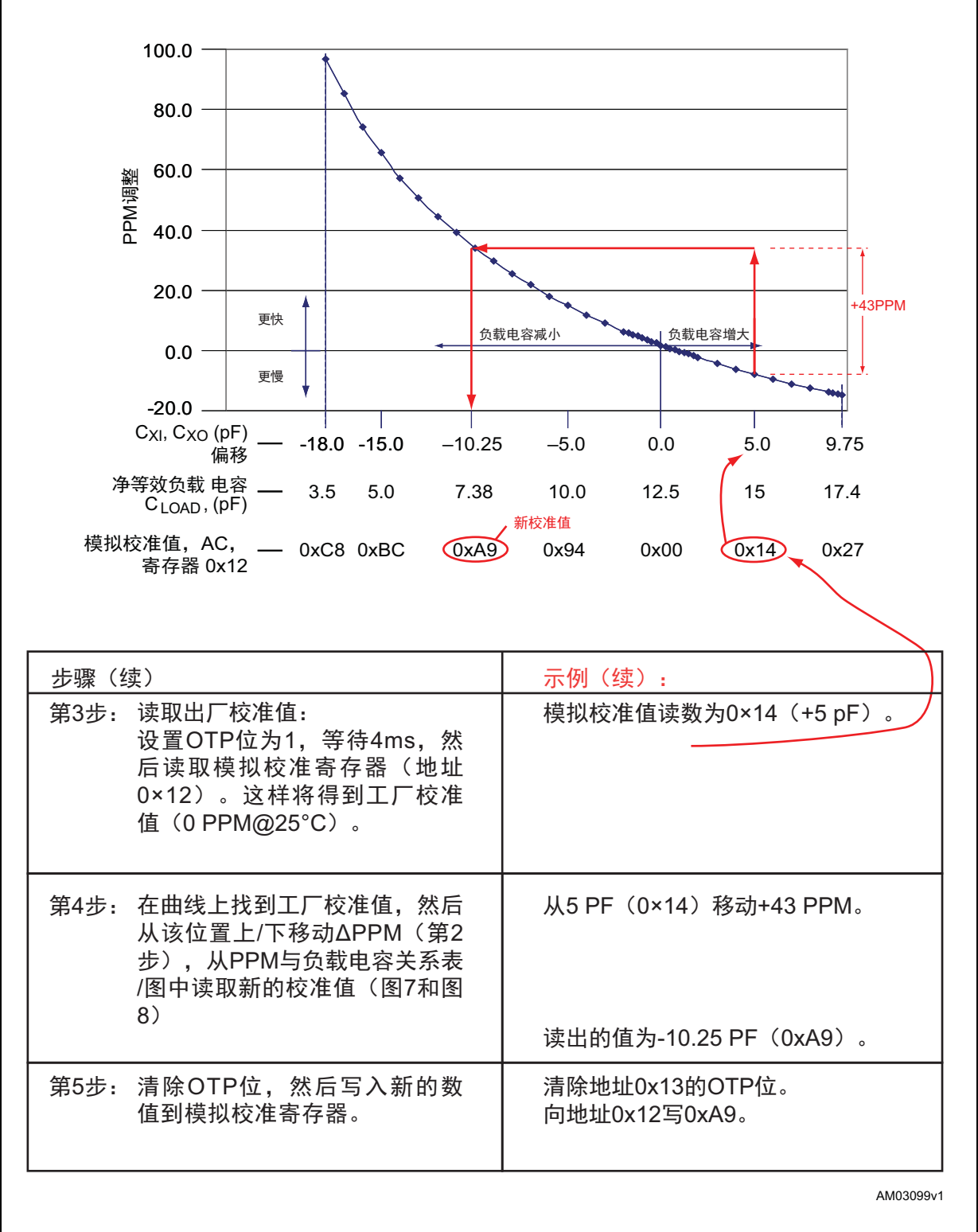
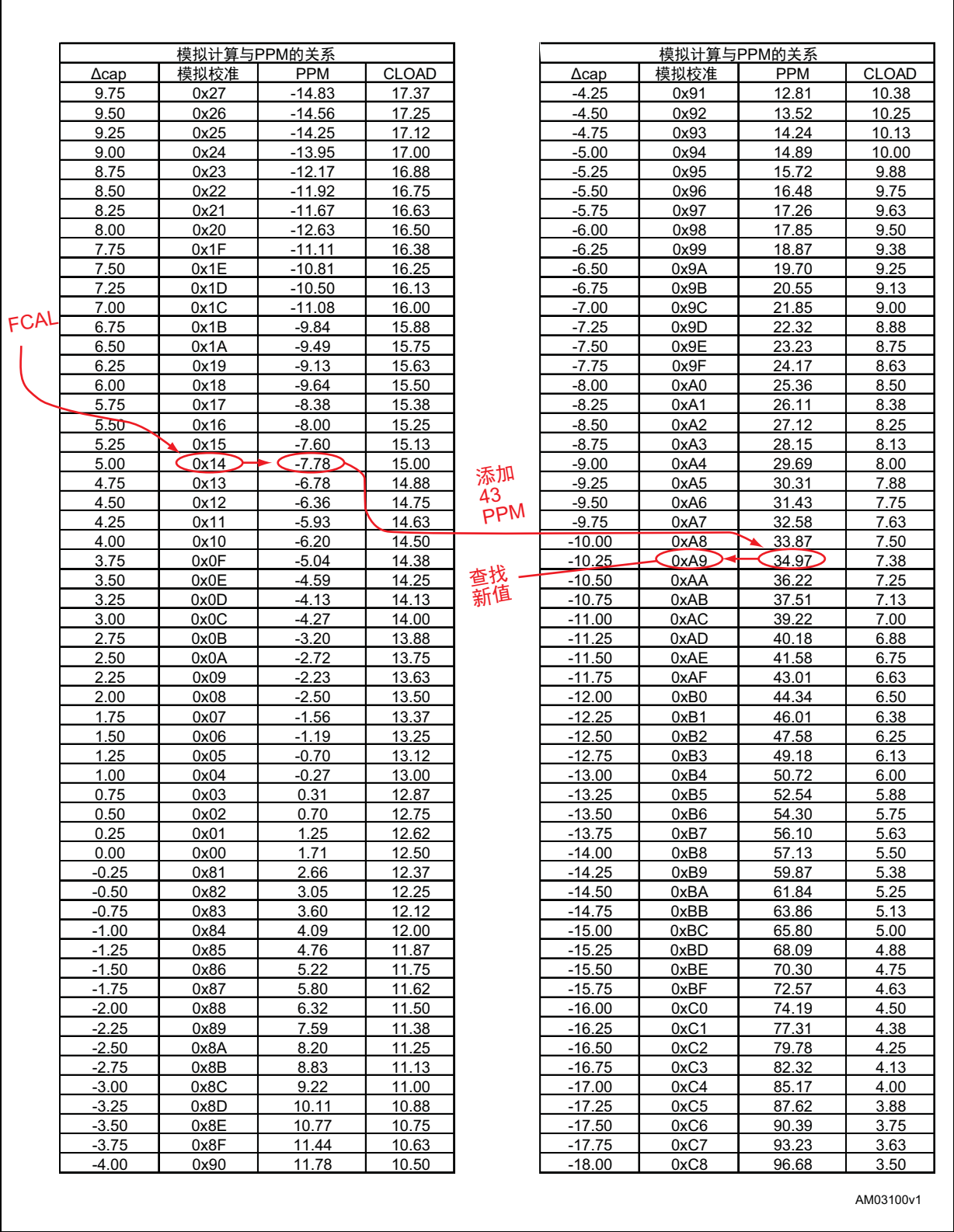


图 8. 负载电容与 PPM 的关系



## 4 版本历史

表 1. 文档版本历史

日期	版本	变更
2009 年 7 月 23 日	1	初始版本。

表 2. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2016 年 6 月 23 日	1	中文初始版本。

**重要通知 - 请仔细阅读**

意法半导体公司及其子公司（“ST”）保留随时对 ST 产品和 / 或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于 ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关 ST 销售条款。

买方自行负责对 ST 产品的选择和使用，ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的 ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致 ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 徽标是 ST 的商标。所有其他产品或服务名称均为其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。

© 2016 STMicroelectronics - 保留所有权利 2016