



Purnachandar Poshala

摘要

体声波 (BAW) 谐振器技术为基于 BAW 的振荡器提供了具有高可靠性的故障间隔平均时间 (MTBF) 和时基故障 (FIT) 值。振荡器通常是系统不可缺少的一部分，并且通常必须在产品的整个生命周期内可靠地运行。

产品开发人员需要开发能够在整个产品生命周期内可靠运行的产品，并且通过充分利用 BAW 振荡器 MTBF，产品开发人员可轻松选择振荡器元件。

本应用手册提供了 BAW 振荡器 MTBF 和时基故障值的计算和结果及其计算步骤。

内容

1 引言.....	2
2 BAW 振荡器的 MTBF 和时基故障计算.....	2
3 使用在线估算器计算 MTBF 和时基故障.....	4
4 任务剖面对于时基故障率计算的重要性.....	6
5 总结.....	7
6 参考文献.....	7

插图清单

图 2-1. LMK6x 在线 MTBF 和时基故障估算值快照.....	3
图 3-1. 在线 MTBF 和时基故障估算器工具的快照.....	4
图 3-2. 为 LMK6C 生成的 MTBF 和时基故障信息.....	5
图 3-3. 使用 55°C 用例的降额工具快照.....	6

表格清单

表 2-1. 加速因子计算数据.....	2
表 2-2. 用于故障率计算的数据.....	3
表 2-3. 故障次数和置信水平的卡方值.....	3
表 4-1. 降额时基故障计算.....	6

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

故障率的计算是评估产品可靠性性能的一个重要指标。JEDEC 在 [JEDEC JESD85 以时基故障为单位计算故障率的方法](#) 中描述了一种计算时基故障率的方法。在此方法中，针对不同的环境应力（如高温工作寿命 (HTOL) 测试），采用已知样本数量的元件。HTOL 测试在高温（例如 125°C）条件下持续一定时间，记录测试期间发生故障的元件数量，用于计算时基故障率。

可靠性数据以时基故障 (FIT) 或故障间隔平均时间 (MTBF) 或其他类似参数来表示。时基故障是指在 10×10^8 器件小时（或 10 亿小时）内发生一次故障的情况。FIT 通常是用于表示故障率的单位，是指每 1000 个运行小时百万分之一 (PPM)，或者 1000 个器件每运行 100 万小时发生一次故障的情况。

MTBF 是时基故障值的倒数 ($10 \times 10^8 / \text{FIT}$)。上述大部分方法仅适用于恒定的故障率。这些方法假设 $\times 2$ (卡方) 分布是故障随时间分布的合理近似值。本应用手册中提供的示例涉及通过阿仑尼乌斯方程估算的故障。较高的 MTBF 值（或较低的时基故障值）可实现更可靠的产品，这样的产品在整个生命周期中遇到的问题或故障更少，从而降低维修成本和计划外停机时间。

2 BAW 振荡器的 MTBF 和时基故障计算

时基故障率为 1 表示在超过 10 亿小时的运行中出现一次故障。计算时基故障的一种优选方法是使用 HTOL 可靠性数据，并使用阿仑尼乌斯方程进行加速，假设 $\times 2$ 分布是故障分布随时间变化的合理近似值。节 1 中引用的 JESD85 标准文档用于计算。虽然 JESD85 显示了由于不同的故障机制而评估时基故障的方法，但对于大多数现代半导体技术，鉴定验收为 0 故障。

进行 HTOL 的样本数量因不同的鉴定标准而异。有关德州仪器 (TI) 提供的 LMK6x BAW 振荡器，请访问 www.ti.com，在质量、可靠性和封装信息中了解有关 LMK6x 器件的 HTOL 测试数据。在网站中选择器件型号，以查看或下载该特定器件的可靠性数据。根据 LMK6C、LMK6D、LMK6P 和 LMK6H 数据，HTOL 的样本数量为 7859，测试时长为 1000 小时，故障次数为零，测试温度为 125°C。这些数据截至编写本应用手册时有效。有关最新数据，请参阅上述产品页面链接。

LMK6x BAW 振荡器的时基故障计算的分步过程如下：

第 1 步：计算加速因子 (AF)

使用表 2-1 中的数据计算加速因子 (AF)。测量时基故障的常见做法是根据 0.7eV 的活化能降至 55°C（工作温度或使用温度）。方程式 1 中显示了用于计算 AF 的公式。

$$\text{Acceleration Factor} = \exp\left[\left(\frac{E_a}{k}\right) \times \left(\frac{1}{T_{\text{use}}} - \frac{1}{T_{\text{stress}}}\right)\right] \quad (1)$$

将表 2-1 中的值代入 AF 公式将得出因子 78.6。

$$\exp\left[\left(\frac{0.7 \text{ eV}}{8.6 \times 10^{-5} \text{ eV/K}}\right) \times \left(\frac{1}{55^\circ\text{C}} - \frac{1}{125^\circ\text{C}}\right)\right] = 78.6 \quad (2)$$

表 2-1. 加速因子计算数据

变量	值
加速测试温度 (T_{stress})	125 °C
工作或使用温度 (T_{use})	55 °C
活化能 (Ea)	0.7eV
玻尔兹曼常数 (k)	$8.6 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$

第 2 步：计算故障率

计算出加速因子后，下一步就是计算故障率 (FIT)。对于此计算，置信水平为 60%（这是工业计算的典型值），并使用表 2-2 中的数据。

表 2-2. 用于故障率计算的数据

变量	值
样本数量 (ss)	7859
测试持续时间 (t)	1000 小时
置信水平 (CL)	60%

下面是用于计算时基故障率的公式。其中 χ^2 是卡方值， f 是故障次数。

$$\text{Failure Rate (FIT)} = \frac{\chi^2(\%CL, 2 \times f + 2) \times 10^9}{2 \times t \times ss \times AF} \quad (3)$$

表 2-3 提供了针对不同故障和置信水平 (60% 和 90%) 的 χ^2 (卡方) 值的快速参考。

表 2-3. 故障次数和置信水平的卡方值

故障次数 (f)	置信水平 (60%)	置信水平 (90%)
0	1.833	4.605
1	4.045	7.779
2	6.211	10.645
3	8.351	13.362

在置信水平为 60% 且故障次数为零时，根据表 2-3， $(f) = 0$ ， χ^2 值为 1.833。BAW 振荡器的 HTOL 数据是 7859 个样本在 125°C 下进行 1000 小时 HTOL 测试期间为 0 次故障，代入方程式 3 后，在 55°C 下的时基故障值计算为 1.5。

$$\text{Failure Rate (FIT)} = \frac{1.833 \times 10^9}{2 \times 1000 \times 7859 \times 78.6} \cong 1.5 \quad (4)$$

如节 1 中所述，MTBF 值是时基故障值的倒数，如方程式 5 中所示。

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\text{FIT}} = 6.66666667 \times 10^8 = 6.7 \times 10^8 \quad (5)$$

该结果表明，在本节中使用的条件下，BAW 振荡器的故障间隔平均时间约为 6.7 亿小时。图 2-1 显示了 LMK6x BAW 振荡器的 TI 在线数据快照，该数据支持这些结果。

MTBF/FIT estimates

MTBF/FIT		MTBF/FIT supporting data							
MTBF	FIT	Usage temp (°C)	Conf level (%)	Activation energy (eV)	Test temp (°C)	Test duration (hours)	Sample size	Fails	Additional comments
6.667x10 ⁸	1.5	55	60	0.7	125	1000	7859	0	—

图 2-1. LMK6x 在线 MTBF 和时基故障估算值快照

要查找图 2-1 中所显示的 MTBF 或时基故障数据信息，请参阅 LMK6x 数据表文件夹订购和质量选项卡，然后点击质量可靠性和封装信息列下的查看或下载链接。

作为说明如何使用 www.ti.com 上提供的信息的最后一个示例，对于在 35°C 进行操作，时基故障率计算为 0.3，与本节中使用的条件完全相同。MTBF 为 3.32×10⁹。该结果表明，BAW 振荡器在 35°C 下使用可以无故障运行 33.2 亿小时。

3 使用在线估算器计算 MTBF 和时基故障

TI 提供了一个在线计算器，即 [MTBF/时基故障估算器](#) 工具，用于计算 MTBF 和时基故障。图 3-1 显示了在线估算器的快照。本节以 LMK6C 为例介绍了如何使用估算器工具。

在 MTBF 和时基故障估算器下提供的输入中输入 TI 器件型号，如图 3-1 中所示。然后点击 **Search** 按钮。

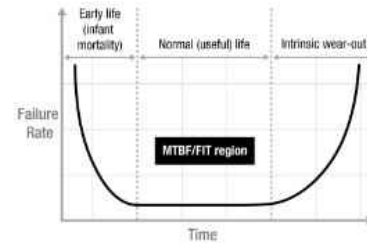
MTBF/FIT estimator

The purpose of qualification testing is to determine the life of a product, and most device lifetimes can be represented by this simple curve from the potential early fail rates to the eventual life wear out.

Mean Time Between Falls (MTBF) and Failures in Time (FIT) rates are typical statistics customers ask for when inquiring about a device's reliability. These measures of a product's life are calculated via the data taken to understand these questions. These values are calculated by TI's internal [reliability testing](#).

TI's MTBF/FIT estimator search tool allows you to find generic data based on technology groupings to estimate these typical questions and shows conditions under which the rates were derived.

Simply enter a part number, and the tool will present the data. All terms used in the tool and definitions can be found on our [reliability terminology page](#).



Part type TI part number
 Customer part number

Part number

A minimum of four characters are required for a part number search.
Use commas to separate multiple part numbers.
Full part numbers are required with multiple part searches.

Search

图 3-1. 在线 MTBF 和时基故障估算器工具的快照

在提供的 LMK6x 列表下选择特定器件型号。点击单个器件可生成 MTBF 和时基故障信息，如图 3-2 所示。

The following failure rates are summarized by technology and mapped to the associated material part numbers. The failure rates are highly dependent on the number of units tested, therefore, it is not recommended to compare failure rates.

Part number	MTBF / FIT		MTBF / FIT supporting data							
	MTBF	FIT	Usage temp (°C)	Conf level (%)	Activation energy (eV)	Test temp (°C)	Test duration (hours)	Sample size	Fails	Additional comments
LMK6CE00400CDLER	6.667x 10 ⁸	1.5	55	60.0	0.7	125	1000	7859	0	-

Definition of Table Terminology

Part #:The TI orderable part number

MTBF: Mean Time Between Failures

FIT: Failures-in-Time. The number of failures per 1E9 device-hours

Conf level %: Statistical confidence level

Test temp (°C): Temperature at which the stress test is performed

Sample size: Sample size is how many units were tested and would be based on the normalized value for duration

Fails: The number of failures per test

Usage temp (°C): Estimated usage temperature

Activation energy (eV): Energy in electron volts (eV) for a particular process to occur

Test duration (hrs): Test duration is a field that comes from the qualification testing of a product. Since more than one test is conducted and the duration varies, this field will be normalized based on calculations using temp, quantity and fails. This value would be equivalent unit hours.

NA: Not Applicable

TBD: To Be Determined

图 3-2. 为 LMK6C 生成的 MTBF 和时基故障信息

在图 3-2 中所示的信息上方，是降额工具按钮。使用此降额工具可以找到不同用途和工作温度的时基故障计算，而不是上一节中计算的 55°C 的计算。输入在 55°C 工作时 BAW 振荡器时基故障率为 1.5，并使用滚动选项升高/降低应用温度，以确定不同工作温度下的 MTBF 数。

Temperature change FIT

The Arrhenius equation is a formula the correlates temperature to the rate of an accelerant (in our case, time to failure). Using the Arrhenius equation, you can estimate temperature related FIT given the qualification and the application temperatures.



For example, if you have a FIT of 16.7 at a reference temperature of 55C, you can predict FIT at application temperature of 75C to be 69.2 with 0.7Ea

Equation

$$AF = \exp\left(\frac{E_a}{k} * \left(\frac{1}{T_{low}} - \frac{1}{T_{high}}\right)\right)$$

图 3-3. 使用 55°C 用例的降额工具快照

如图 3-3 所示，对于 35°C 的工作温度用例，时基故障值为 0.3。

4 任务剖面对于时基故障率计算的重要性

任务剖面是在更实际的用例中评估时基故障率的重要方法。[计算任务剖面的时基故障率](#)应用手册更详细地说明了如何使用 TI 提供的降额工具。

时基故障率是假设在器件整个生命周期内某工作温度条件下计算的最坏情况时基故障值。但实际上，安装振荡器的最终系统或最终产品在整个器件生命周期内会经历不同的较高温度。振荡器在一段时间内通常会经历各种温度。如果已知确切的工作（使用）温度，以及振荡器在器件的使用寿命内经历该温度的大致时间百分比，时基故障值可能优于最坏情况下的值。

表 4-1 提供了一个示例任务剖面以及时基故障计算。对于特定应用，创建类似于表 4-1 的表有助于计算实际系统的时基故障率。对于不同的应用用例，该表值有所不同。

表 4-1. 降额时基故障计算

工作或使用温度 (°C)	时间 %	降额时基故障	FIT x (时间 %)
20	25	0.1	0.025
30	35	0.2	0.07
60	30	2.2	0.66
85	10	11.9	1.19
任务剖面时基故障率			1.945

对于此示例用例，时基故障数为 1.945。如果仅在 85°C 工作温度和 100% 时间下计算此示例，则时基故障数为 11.9，远高于实际用例。因此，了解系统的用例，并使用 MTBF 或时基故障计算器得到实际用例的时基故障数至关重要。

5 总结

本应用手册说明了如何使用实际 HTOL 测试数据计算 BAW 振荡器的时基故障率。如上述计算所示，在 35°C 下使用时，BAW 振荡器时基故障率为 0.3，这对于所有晶体和基于 MEMS 的器件技术的振荡器来说都非常出色。时基故障率为 0.3 相当于 33 亿小时的 MTBF。典型的晶体振荡器时基故障率为 15 至 30，表示与具有相似规格的晶体振荡器相比，BAW 振荡器的可靠性得到了提高。

6 参考文献

- JEDEC，[以时基故障为单位计算故障率的方法](#) JESD85 标准
- 德州仪器 (TI)，[计算任务剖面的时基故障](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI)，[LMK6x 低抖动、高性能 BAW 振荡器](#) 数据表

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司