

# 用于汽车SoC的数据转换器IP

2018年3月

作者: Manuel Mota, Synopsys 公司模拟IP部产品营销经理

## 前言

当今的汽车正在把电子系统用于各种各样的应用,包括信息娱乐、高级驾驶员辅助系统(ADAS)以及动力传动系统等,以实现无与伦比的可靠性、安全性和整体消费者体验。电子系统及其部件必须能够耐受极端的温度范围,并表现出超过10 - 15年的寿命。对于图1所示的大多数这样的应用而言,故障是无法接受的,因为这可能会导致司机、乘客和路人遭受威胁生命的事件。

诸如片上系统(SoC)和IP等电子系统组件必须遵守一套严格的标准,其针对功能安全性、可靠性和质量定义了开发和测试标准。为了减少SoC级的约束并加快上市速度,SoC设计人员可以受益于采用符合汽车要求的IP,例如数据转换器IP(“模拟-数字”和“数字-模拟”),它们把多种模拟传感器连接到SoC上。需要数据转换器的传感器有各种各样,例如,帮助识别不同发动机状态的简单温度传感器,以及支持ADAS的雷达/LiDAR(激光雷达)传感器。其他涉及到数据转换器的相关应用还有与其他车辆或者与固定网络进行通信的无线收发器。

本白皮书介绍了多种高效、优化的程序,用于满足汽车的各种要求,其途径是在IP(例如数据转换器)与包含此IP的SoC功能模块之间对功能性安全要求进行审慎划分。本文还介绍了IP必须满足的、所需要的一系列可靠性和安全特性以及测试。

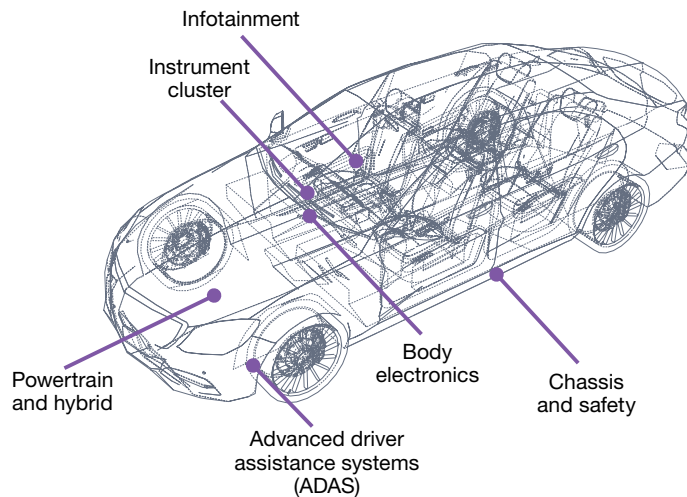


图1: 当今的汽车包含了越来越多面向无数关键应用的电子系统

## 面向可靠性的SoC和IP设计

汽车电子设备委员会 (AEC) 为汽车行业制定了一套认证标准, 定义了“集成电路压力测试标准” (2014年9月), 其中概述了“关于集成电路 (IC) 资格的最低压力测试驱动资格要求以及参考测试条件”。

AEC-Q100标准定义了SoC及其组件 (例如IP) 必须支持的、所需要的温度等级。温度等级划分为0级至3级, 这取决于SoC或IP预期能够可靠运行的最高环境温度, 如表1所示。等级数字越低, 温度范围越大。

A环境温度等级	
等级0	-40°C 至 +150°C
等级1	-40°C 至 +125°C
等级2	-40°C 至 +105°C
等级3	-40°C 至 +85°C

表1: AEC-Q100环境温度等级定义

对于汽车SoC或IP电路仿真, 设计人员必须把环境温度 ( $T_a$ ) 转换为结温 ( $T_j$ )。准确的转换必须考虑SoC上的平均活动 (其消耗的平均功率) 以及封装热阻。封装热阻用于测量从模具中去除热能并将其消散在环境中的能力 (模具本身与环境之间的温度差)。但是, 根据经验, 通常假设表2中显示了以下转换规则:

从 $T_a$ 到 $T_j$ 的近似转换	
$T_a = +150^\circ\text{C}$	$T_j \sim +175^\circ\text{C}$
$T_a = +125^\circ\text{C}$	$T_j \sim +150^\circ\text{C}$

表2: 环境温度到结温的近似转换

温度对系统特性的影响必须在SoC生命周期中在高温条件下通过累积运行效果来测量。为了准确地描述温度对器件老化的影响, 应该考虑器件运行的温度特征。温度特征描述了SoC或IP在其生命周期中在任何给定温度范围内处于运行状态的预期时间。图2显示了一项任务特征的行业示例。

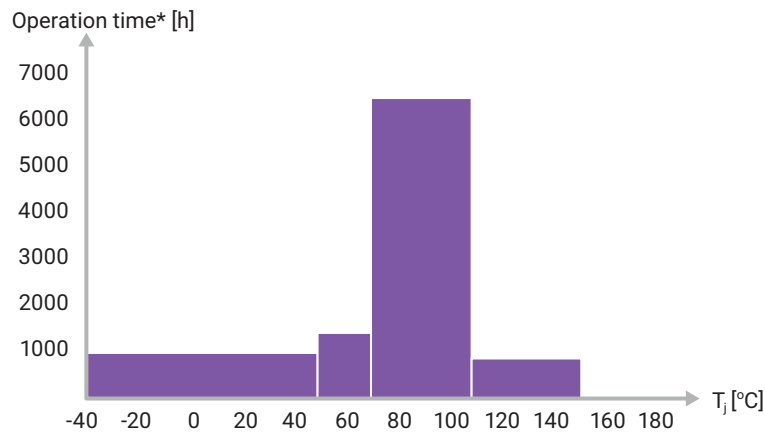


图2: 等级1的一项任务特征的行业示例

鉴于设计多变性、晶体管老化和电迁移等关键因素，汽车可靠性限制了SoC生命周期内每百万部件允许发生的最大故障数量。

- ▶ 设计多变性是指某些制造工艺特性的变化导致设备不匹配。它在局部（随机变化）和整个模具（渐变效应）两个方面影响SoC。为了实现较低的失效率，对临界块进行的Monte Carlo（蒙特卡洛）统计模拟将分析失配分布的极值（例如，最高5\*）。
- ▶ 晶体管老化是指构成SoC的晶体管的特性随着工作时间和工作条件的变化而变化。它是诸如HCI（热载流子注入）、NBTI、PBTI（负偏置和正偏置温度不稳定）之类的效应所产生的结果，这在晶体管生命周期中会随着工作条件的变化而改变晶体管的阈值电压。它必须考虑到任务特征、晶体管预期的总通电小时数（POH）以及汽车应用的低故障率要求。通常情况下，温度特征可以在固定的温度下转换成等效的POH，以用于设计验证。在设计阶段，目标故障率通过运行仿真来满足，其中包括在规定温度下在等效POH期间的老化效应。
- ▶ 电迁移是指，当存在显著的电流密度时，在互连的导线和触点中发生导体原子的位移，这会改变互连线的电阻率（甚至可能使其断开）以及电路的时序特性。电迁移效应也与SoC的温度特性以及预期的POH总数有关。具体的仿真模型可以验证在SoC的生命周期中不存在电迁移问题。

除上述要求之外，还必须保证在预期最大功能温度（例如，对于级别1而言， $T_j \sim 150^{\circ}\text{C}$ ）条件下的瞬时动作，即使温度特性表明该SoC或IP在该温度下的运行仅仅占总运行时间的很小一部分。这一要求可以确保当SoC或IP在最高温度下运行时，它们能够满足功能及性能规格，同时不会发生可能限制功能的时序违规。

## 面向功能安全性的SoC和IP设计

ISO 26262是汽车应用中电气和电子系统功能安全性的国际标准。ISO 26262资格认证适用于面向安全应用（例如自动驾驶）的任何汽车SoC或IP，并且规定了SoC或IP的功能安全性与目标汽车安全完整性等级（ASIL）从A级（低风险）到D级（最高潜在风险）之间的关系。

用于汽车功能安全应用的SoC或IP必须具备与预期的ASIL一致的安全特性。虽然SoC中的某些构建块/功能及子构建块（包括IP）可以有效地保证其自身的功能安全措施，但其他部分依赖外部安全措施可能会更有效地保证功能安全性。

汽车IP的关键功能安全考虑因素包括：

- ▶ IP能否能够检测、报告和自行纠正某个错误？利用纠错码（ECC）检查、多数表决、某些形式的本地冗余等功能可以帮助检测和纠正错误
- ▶ IP是否能够在可接受的短时间内检测到故障并报告，以使系统的其他层面能够及时执行安全措施？
- ▶ 是否可以采取外部措施在IP以上的层面来保护该系统？

## 利用数据转换器IP来满足汽车安全要求

数据转换器用于实现低层次的功能，例如与模拟传感器之间的接口，其唯一的目的是把模拟信号转换为其数字表示，以便在其他模块中进行处理。

由于在传感器上产生的模拟信号是未知的，并且不携带任何协议或纠错信息，因此传统的协议级别的故障检测和纠正机制是不适用的。模数转换器（ADC）不具有信号动态的处理能力或知识，无法确定信号是否被破坏。

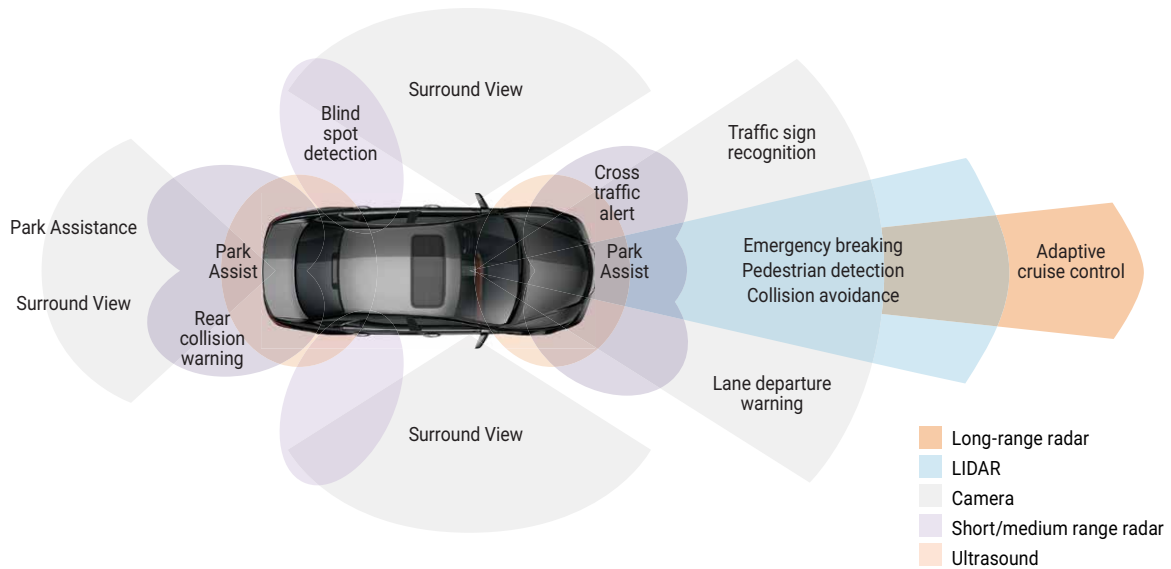


图3: 汽车雷达、LiDAR (激光雷达) 和摄像头都是需要ADC接口的模拟传感器

ADC的自我测试可能也不适用, 因为它经常会干扰ADC运行前台测试的正常操作, 这可能是无法接受的。

对于此类低级别功能块, 需要采用其他方式来解决汽车安全方面的问题。表征和生产测试可以识别出可能影响产品功能和性能的潜在故障。由制造缺陷引入的功能故障(通过诸如单点故障、潜在故障等故障模型所描述)可以使用高覆盖率的“自动测试模式生成”(ATPG)测试方法来识别。对于数据转换器而言, 在表征期间进行斜坡输入信号扫描等测试以便进行完整的范围检查, 以及在生产测试中采用纯正弦输入信号进行快速运行检查, 都有助于以高覆盖率发现模拟模块上的故障。

对于那些会影响ADC但只有在正常操作时才会触发的运行故障而言, 其可以在ADC中实施的测试功能的帮助下, 在系统层次上被有效检测到并采取应对措施:

- ▶ 检测输出堵塞故障状况(如果输出字被固定在恒定水平上)
- ▶ 检测长时间延迟故障状况(用于触发的转换)
- ▶ 检测不完整校准故障状况(对于校准的转换器)
- ▶ 检测已知输入电压的错误转换(在一个输入多路复用器(MUX)中使用专用的输入通道为测试提供固定输入电平), 如图4所示。

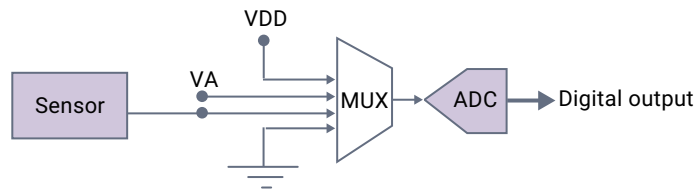


图4: 利用MUX测量已知电压, 以便检测故障

为了满足汽车功能安全性要求, 上述方法可能不足以实现高覆盖率, 因此还应该辅以额外的外部功能安全措施。此类外部功能安全措施应当能够在系统层次上识别并解决ADC的安全风险, 而不会影响到整个系统的安全性。

针对ADC的此类外部功能安全性措施虽然能够识别出运行故障, 但在功能上是冗余的。通常采用类似的方法来检测诸如处理器之类的功能块中的运行故障。

功能冗余能够持续不断地检查两个并行运行的信号路径之间的输出一致性。如果检测到不一致性, 则系统就会知道出现了故障, 并且应该根据该故障采取措施, 以消除功能安全方面的问题。

在图5所示的例子中，两个数据转换器用于功能冗余。相同的传感器输出信号通过两个独立的转换器进行处理，并由系统来检查结果的一致性。其过程如下：

- ▶ 实例化2个类似的ADC，其中，外部传感器连接到两个ADC，或者为了增加冗余，采用两个冗余传感器通道
- ▶ 系统在SoC层次上执行ADC输出的比较逻辑（必须考虑每个ADC中存在的微小噪声误差）
- ▶ 如果比较结果不符合允许的误差，SoC可以执行安全措施，例如拒绝该测量结果，转而采用下一次测量的结果
- ▶ 此外，系统可以检测在短时间内是否发生了大量错误，并且可以在这种情况下转移至安全模式，例如重新初始化该功能，或者对司机发出告警信号并禁用相关功能
- ▶ 这种冗余可以防范ADC中的随机故障：两个ADC中同时发生相同随机故障的概率非常低
- ▶ 这种冗余针对阻塞类型的（stuck-type）故障提供辅助保护，能够对IP中实施的传统扫描测试构成补充：在两个ADC中同时发生相同阻塞故障的概率非常低
- ▶ 利用ADC冗余，客户的安全性分析工作可以集中于其他重要的功能安全性方面，例如在SoC层面上采用针对ADC的外部措施，以及针对外部传感器的预期故障率采取措施

图5显示了一些应用于汽车传感器接口的冗余示例。这些实施中的任何一个都能够提高系统范围的功能安全性覆盖范围，即使在内部针对ADC之类的具体模块实施这些措施可能并不理想也不高效。

在所示的三个示例中，冗余从ADC延伸到传感器。扩展的冗余把外部安全措施覆盖面延及所有冗余模块，因此减少了具体模块对内部功能安全措施的需求，但付出的代价是必须重叠使用这些模块。

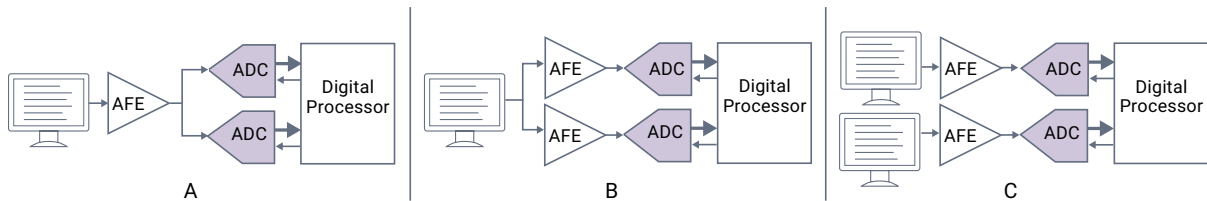


图5：用于识别ADC中运行故障的功能冗余

## 小结

汽车应用对IP设计人员和SoC集成人员提出了苛刻的要求，他们必须遵守所有强制的可靠性和功能安全性规定。充分了解这些要求以及如何SoC中有效满足这些要求，能够让集成人员把这些挑战分解为多个可以驾驭的部分，同时能够充分利用集成的IP所具有的特性（和资格要求），以便在模拟传感器接口的背景下完成汽车认证并加快上市时间。在不可能或不适宜实施内部安全性功能的情况下，当使用诸如数据转换器之类的功能块时，采用实现功能安全性目标的一些替代方法有助于实现系统级的功能安全性目标。

有关详细信息，请访问[DesignWare® 数据转换器IP解决方案](#)