Technical White Paper

为安全 MCU 设计电源以满足功能安全 ASIL B 要求

Harvey Chen

摘要

在高级驾驶辅助系统 (ADAS)、电池管理系统 (BMS)、数字驾驶舱和仪表组等汽车应用中，功能安全非常重要。设计人员通常想知道如何为安全微控制器 (MCU) 设计电源，以达到汽车安全完整性等级 (ASIL) B。

本文介绍了一种 TI 设计，该设计利用两个 TI 功能安全型器件（LM63625-Q1 降压转换器与 TPS37A-Q1 监控器），可在数字驾驶舱和仪表组应用中满足 ASIL B 的随机硬件故障指标。该方法还可扩展到其他汽车应用。

TI 功能安全型器件并非根据任何功能安全标准的要求开发。TI 向客户提供时基故障 (FIT) 率和失效模式分布信息，以协助计算随机硬件故障指标。TI 建议通过“硬件要素评估”策略（国际标准化组织 [ISO] 26262-8:2018，第 13 条）将这些元件集成到系统中。

内容

插图清单

表格清单

1 引言

安全 MCU 广泛应用于安全关键型汽车系统，例如数字驾驶舱和仪表组。MCU 通过控制器局域网 (CAN) 从各种电子控制单元和传感器收集安全相关信息。然后，该器件执行相应的信号处理和故障检测，以达到系统功能安全要求。为了防止 MCU 进入不安全状态，必须将电源保持在安全 MCU 的建议工作范围内。

基于固有安全风险的 ISO 26262 标准中有四种 ASIL 分级：ASIL A、ASIL B、ASIL C 和 ASIL D，其中 ASIL D 是最严格的要求。数字驾驶舱和仪表组应用的目标通常是 ASIL B。

2 满足功能安全要求的安全 MCU 电源设计

假设安全 MCU 需要 3.3V 电源轨。图 2-1 所示为典型的功率架构。

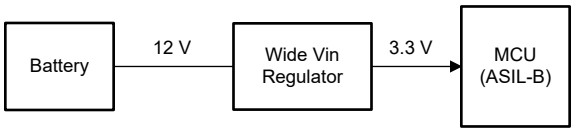

图 2-1. 安全 MCU 的典型电源架构

需要监控 3.3V 电源输出是否存在电源欠压或过压等故障。如果出现上述任一情况，MCU 可能会在不安全状态下运行，因此需要将 MCU 复位为关闭状态并将系统转换为安全状态。

设计人员必须考虑如何设计安全 MCU 电源，以在系统级别达到 ASIL B 的随机硬件故障要求。一个建议的修复方法是使用外部监控器来监控电源输出。监控器与电源输出无关，因此不会出现共因失效。由于监控器性能高且精度高，因此电源过压和欠压的诊断覆盖范围很高。

使用功能安全型稳压器的集成 PGOOD 引脚作为监测欠压和过压故障的安全机制可能不足以满足 ASIL B 要求。PGOOD 电路可能不会独立于电源的稳压器电路，因为这些电路可能共享相同的内部带隙。如果带隙漂移超出规格，则 PGOOD 也会发生故障，不会捕获欠压和过压故障；这称为共因失效。PGOOD 的诊断覆盖率可能低于 90%，不符合 ASIL B ≥ 90% 的单点故障指标 (SPFM)。

图 2-2 和图 2-3 介绍了使用各种监控器且面向 ASIL B 的参考设计。

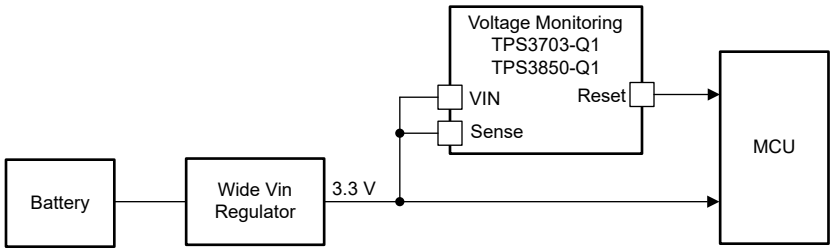

图 2-2. 使用 TPS3703-Q1 或 TPS3850-Q1 进行 MCU 电源监控

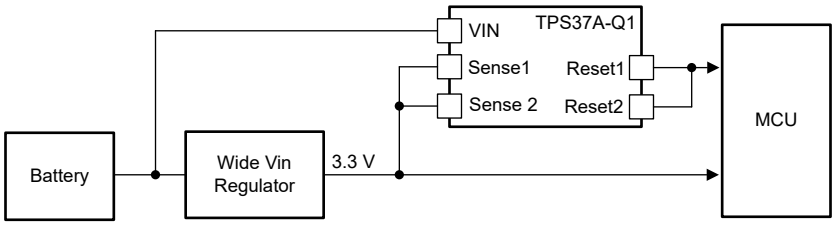

图 2-3. 使用宽 V_{IN} 监控器进行 MCU 电源监控

在图 2-2 中，TPS3703-Q1 是一款具有高精度欠压和过压监控器的窗口监控器。TPS3850-Q1 是一款具有集成式窗口看门狗的窗口监控器。两种器件都支持 V_{IN} 和 SENSE 引脚上高达 6.5V 的输入电压。如果稳压器过压故障导致超过 $6.5V_{OUT}$，则该过压会超出监控器的绝对最大电压输入范围，并会导致监控器失效或损坏。但是，此过压通常也会超过 MCU 的最大工作电压。MCU 发生严重故障甚至损坏。在数字驾驶舱或仪表组中，MCU 损坏会导致黑屏，这被视为安全状态。

如果担心过压高于 6.5V，则应考虑 TPS37A-Q1。该器件是一款宽 V_{IN} 监控器，支持 V_{IN} 和 SENSE 引脚上高达 65V 的电压，这样 V_{IN} 可以直接连接到电池。该监控器会监控电源输出，并在检测到欠压或过压事件时将 MCU 复位至安全状态。

3 ASIL B 电源设计示例和 FMEDA 分析

以下示例显示了使用 LM63625-Q1 宽 V_{IN} 稳压器和 TPS37A-Q1 监控器来实现 ASIL B 的电源设计。此示例适用于数字驾驶舱和仪表组，并可根据其他功能安全设计进行调整。

3.1 功能安全要求

在使用 TI 器件进行设计时，请遵循以下功能安全要求实践：

- 安全要求：设计符合 ASIL B 标准的 3.3V 安全 MCU 电源
- 安全状态：检测到电源故障时将安全 MCU 复位至安全状态
- 容错时间间隔：500ms
- 了解如何在系统的失效模式、影响和诊断分析 (FMEDA) 中利用 TI 的失效模式分布 (FMD) 和引脚失效模式分析 (FMA) 数据
- 通过 FMEDA 分析证明与监控器耦合的 TI 功能安全型稳压器满足 ASIL B 指标

3.2 拟议的电源设计

图 3-1 采用图 2-2 中所示的设计，重新绘制了图并添加了稳压器的器件型号。

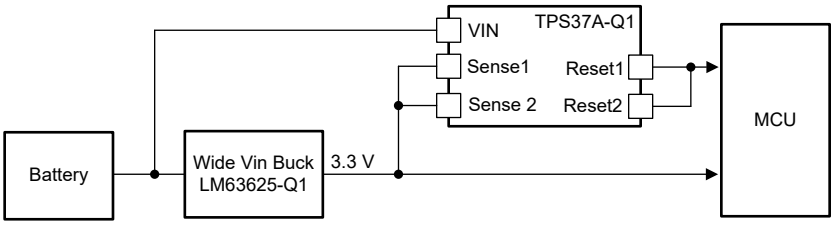

图 3-1. 满足 ASIL B 标准的 MCU 电源设计

LM63625-Q1 是一款 3.5V 至 36V 宽 V_{IN} 压降压转换器；电源输出为 3.3V。MCU 的安全工作电压为 3V 至 5V。TPS37A-Q1 监控 3.3V 电源输出，当电压高于 5V 或低于 3V 时，会将安全 MCU 复位。因此，TPS37A-Q1 实现了过压和欠压检测安全机制 (SM)。

3.3 FMD 和引脚 FMA

TI 产品提供了根据 Siemens (SN) 29500 或国际电工委员会 (IEC) TR 62380 的可靠性指南得出的时基故障率。SN 29500 与 IEC TR 62380 的不同之处在于考虑了由芯片和封装相互作用引起的失效。SN29500 仅提供总时基故障率，而 IEC TR 62380 将芯片时基故障率和封装时基故障率进行区分以用于分析。

功能安全标准建议半导体元件制造商估计由于器件与封装材料以及器件与封装的连接点（引脚）相互作用而导致的故障。对于前置稳压器、低压降稳压器和电压监控器等功能安全型器件，TI 提供功能安全时基故障率、失效模式分布和引脚 FMA 报告。

表 3-1 以 LM63625-Q1 为基准，列出了失效模式及其各自的分布。

表 3-1. 裸片失效模式及分布

裸片失效模式	失效模式分布 (%)
SW 无输出	35
SW 输出不在电压或时序规格范围内	45
SW 驱动器 FET 卡在开启位置	10
$\overline{\text{RESET}}$ 误动作或未动作	5
任意两个引脚短路	5

表 3-1 中列出的芯片失效模式在以下列表中进行了说明：

- *SW 无输出* 表示没有电压输出。MCU 未通电。该失效模式可归类为安全故障。
- *SW 输出不在电压或时序规格范围内* 表示电源输出超出规格。TPS37A-Q1 能够以 ±1% 的精度检测欠压故障和过压故障，并将 MCU 复位至安全状态。
- *SW 驱动器 FET 卡在开启位置* 可能导致电源输出等于 V_{IN}。TPS37A-Q1 检测此故障并将复位信号输出到 MCU。在此示例中，电源输出未关闭以保护 MCU，因此 MCU 可能会损坏，导致仪表组出现黑屏，这被视为安全状态。如果在更严格的应用中 MCU 损坏是个问题，则外部金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 开关可关闭电源输出以保护 MCU。
- 本示例中未使用 LM63625-Q1 的 $\overline{\text{RESET}}$ 输出。因此，*$\overline{\text{RESET}}$ 误动作或未动作* 失效模式被视为与安全无关。
- 在引脚失效模式和影响分析中分析了*任意两个引脚短路*。

3.4 芯片级 LM63625-Q1 和 TPS37A-Q1 FMEDA 分析

以下各节中的计算基于 IEC TR 62380。FMEDA 表分别列出了芯片和封装故障。

表 3-2 展示了 LM63625-Q1 和 TPS37A-Q1 在芯片级的单点故障指标 (SPFM) 和潜在故障指标 (LFM) 计算方式，以证明设计满足 ASIL B 标准：SPFM ≥ 90% 且 LFM ≥ 60%，不考虑该电路所需的任何无源器件。

表 3-2. 芯片级 LM63625-Q1 和 TPS37A-Q1 FMEDA 分析

					单点故障				潜在故障			
元件	失效率	要在计算中考虑的安全相关元件？	失效模式	失效模式分布	在缺乏安全机制的情况下有可能有悖安全目标的失效模式	防止失效模式有悖安全目标的安全机制	与有悖安全目标相关的失效模式覆盖	残余故障或单点故障失效率	与另一个元件的独立失效相结合可能导致有悖安全目标的失效模式	检测方法？防止失效模式具有隐蔽性的安全机制？	与潜在失效相关的失效模式覆盖	潜在多点故障失效率
	FIT	SR/NSR		%	V/NV	SM/NSM	%	FIT	V/NV	SM/NSM	%	FIT
LM63625-Q1	7.00	SR	SW 无输出	35%	NV			0.0000	NV			0.00
	7.00	SR	SW 输出不在电压或时序规格范围内	45%	V	SM	99%	0.0315	V	SM	100%	0.00
	7.00	SR	SW 驱动器 FET 卡在开启位置	10%	V	SM	99%	0.0070	V	SM	100%	0.00
	7.00	SR	RESET 误动作或未动作	5%	NV			0.0000	NV			0.00
	7.00	SR	任意两个引脚短路	5%	V	SM	99%	0.0035	V	SM	100%	0.00
TPS37A-Q1	2.00	SR	RESET1/ 未动作	8%	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.16
	2.00	SR	RESET1/ 误动作	8%	NV			0.0000	NV			0.00
	2.00	SR	RESET1/ 动作超出规格（电压或时间）	31%	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.62
	2.00	SR	RESET1/ 延迟超出规格	3%	NV			0.0000	NV			0.00
	2.00	SR	RESET2/ 未动作	8%	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.16
	2.00	SR	RESET2/ 误动作	8%	NV			0.0000	NV			0.00
	2.00	SR	RESET2/ 动作超出规格（电压或时间）	31%	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.62
	2.00	SR	RESET2/ 延迟超出规格	3%	NV			0.0000	NV			0.00
	9.0000							0.0420				1.5600

总故障率（芯片）：9 时基故障

总残余失效和单点失效率：0.042FIT

总潜在故障：1.56FIT

SPFM = 1 – (0.042 / 9) = 99.5%

LFM = 1 – (1.56 / (9 – 0.042)) = 82.6%

$$\text{Single Point Fault Metric} = 1 - \frac{\sum(\lambda_{SPF} + \lambda_{RF})}{\sum(\lambda_{SR})}$$

$$\text{Latent Fault Metric} = 1 - \frac{\sum(\lambda_{MPF,\,Latent})}{\sum(\lambda_{SR}) - \sum(\lambda_{SPF} + \lambda_{RF})}$$

3.5 引脚级 LM63625-Q1 和 TPS37A-Q1 FMEDA 分析

表 3-2 显示了芯片级 FMEDA 分析，而表 3-3 和表 3-4 详细说明了封装 (引脚) 级分析。每个引脚通常会考虑四种失效模式：引脚开路、引脚短接至 GND、引脚对相邻引脚短路以及引脚对电源短路。这四种失效模式分布均匀，许多 TI 产品都遵循这种经验分布。但是，对于 LM63625-Q1 和 TPS37A-Q1 器件，表 3-3 和表 3-4 中的引脚 FMD 会根据特定集成电路 (IC) 设计和仿真结果进行调整。原因是 *引脚短接至 V_{IN} 故障* 率非常低，很可能导致 LM63625-Q1 和 TPS37A-Q1 中出现引脚开路失效模式。

表 3-3. LM63625-Q1 引脚级 FMD

封装 FIT	5 时基故障	
引脚编号	12	
每个引脚的 FIT	5 / 12 = 0.417FIT	
每个引脚的失效模式	**分布**	**每种失效模式的 FIT**
引脚开路	70%	0.417 × 70% = 0.292FIT
引脚短接至 GND	15%	0.417 × 15% = 0.063FIT
引脚短接到相邻引脚	15%	0.417 × 15% = 0.063FIT

表 3-4. TPS37A-Q1 引脚级 FMD

封装 FIT	3 时基故障	
引脚编号	10	
每个引脚的 FIT	3 / 10 = 0.3FIT	
每个引脚的失效模式	**分布**	**每种失效模式的 FIT**
引脚开路	70%	0.3 × 70% = 0.21FIT
引脚短接至 GND	15%	0.3 × 15% = 0.045FIT
引脚短接到相邻引脚	15%	0.3 × 15% = 0.045FIT

表 3-5 和表 3-6 分别显示了 LM63625-Q1 和 TPS37A-Q1 的引脚级 FMEDA。

表 3-5. LM63625-Q1 引脚级 FMEDA 分析

					单点故障				潜在故障			
引脚名称	失效模式	失效模式的影响	要在计算中考虑的安全相关要素	失效率	在缺乏安全机制的情况下有可能有悖安全目标的失效模式	防止失效模式有悖安全目标的安全机制	与有悖安全目标相关的失效模式覆盖	残余或单点故障率	与另一个元件的独立失效相结合可能导致有悖安全目标的失效模式	检测方法？防止失效模式具有隐蔽性的安全机制？	与潜在失效相关的失效模式覆盖	潜在多点故障失效率
			SR/NSR	FIT	V/NV	SM/NSM	%	FIT	V/NV	SM/NSM	%	FIT
SW	引脚开路	无电压输出	SR	0.292	NV			0.0000	NV			0.000
	接地短路	无电压输出	SR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
	短接至 BOOT	无电压输出	SR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
BOOT	引脚开路	丧失输出调节功能，电压输出过低或无电压输出	SR	0.292	V	SM	99%	0.0029	NV			0.000
	接地短路	无电压输出	SR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
	短接至 VCC	丧失输出调节功能，电压输出过低或无电压输出	SR	0.063	V	SM	99%	0.0006	NV			0.000
VCC	引脚开路	无电压输出	SR	0.292	NV			0.0000	NV			0.000
	接地短路	无电压输出	SR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
	短接至 RT	在此示例中，VCC 短接至 GND，无电压输出	SR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
RT	引脚开路	开关频率降至零，无电压输出	SR	0.292	NV			0.0000	NV			0.000
	接地短路	没有影响	NSR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
	短接至 VSEL	没有影响	NSR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
VSEL	引脚开路	输出电压不正确	SR	0.292	V	SM	99%	0.0029	NV			0.000
	接地短路	没有影响	NSR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
	短接至 SYNC/MODE	没有影响	NSR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
SYNC/ MODE	引脚开路	内部下拉将器件置于自动模式，无效	NSR	0.292	NV			0.0000	NV			0.000
	接地短路	没有影响	NSR	0.125	NV			0.0000	NV			0.000
$\overline{\text{RESET}}$	引脚开路	没有影响	NSR	0.292	NV			0.0000	NV			0.000
	接地短路	没有影响	NSR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
	短接至 FB	输出电压不正确或无输出	SR	0.063	V	SM	99%	0.0006	NV			0.000
FB	引脚开路	输出电压可能会超出规格	SR	0.292	V	SM	99%	0.0029	NV			0.000
	接地短路	稳压器以最大占空比运行。输出电压升至接近 V_{IN}	SR	0.063	V	SM	99%	0.0006	NV			0.000
	短接至 AGND	稳压器以最大占空比运行。输出电压升至接近 V_{IN}	SR	0.063	V	SM	99%	0.0006	NV			0.000

表 3-5. LM63625-Q1 引脚级 FMEDA 分析（续）

					单点故障				潜在故障			
引脚名称	失效模式	失效模式的影响	要在计算中考虑的安全相关要素	失效率	在缺乏安全机制的情况下有可能有悖安全目标的失效模式	防止失效模式有悖安全目标的安全机制	与有悖安全目标相关的失效模式覆盖	残余或单点故障率	与另一个元件的独立失效相结合可能导致有悖安全目标的失效模式	检测方法？防止失效模式具有隐蔽性的安全机制？	与潜在失效相关的失效模式覆盖	潜在多点故障失效率
			SR/NSR	FIT	V/NV	SM/NSM	%	FIT	V/NV	SM/NSM	%	FIT
AGND	引脚开路	无电压输出	SR	0.292	NV			0.0000	NV			0.000
	接地短路	没有影响	NSR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
	短接至 EN	无电压输出	SR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
EN	引脚开路	无电压输出	SR	0.292	NV			0.0000	NV			0.000
	接地短路	无电压输出	SR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
	短接至 NC	没有影响	NSR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
NC	引脚开路	没有影响	NSR	0.292	NV			0.0000	NV			0.000
	接地短路	没有影响	NSR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
	短接至 VIN	没有影响	NSR	0.063	NV			0.0000	NV			0.000
V_{IN}	引脚开路	无电压输出	SR	0.292	NV			0.0000	NV			0.000
	接地短路	无电压输出	SR	0.125	NV			0.0000	NV			0.000
总				5.000				0.0113				0.000

表 3-6. TPS37A-Q1 引脚级 FMEDA 分析

					单点故障				潜在故障			
引脚名称	失效模式	失效模式的影响	要在计算中考虑的安全相关要素	失效率	在缺乏安全机制的情况下有可能有悖安全目标的失效模式	防止失效模式有悖安全目标的安全机制	与有悖安全目标相关的失效模式覆盖	残余或单点故障率	与另一个元件的独立失效相结合可能导致有悖安全目标的失效模式	检测方法？防止失效模式具有隐蔽性的安全机制？	与潜在失效相关的失效模式覆盖	潜在多点故障失效率
			SR/NSR	FIT	V/NV	SM/NSM	%	FIT	V/NV	SM/NSM	%	FIT
VDD	引脚开路	器件未供电，OV/UV 监控丢失	SR	0.210	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.210
	接地短路	器件未供电，OV/UV 监控丢失	SR	0.045	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.045
	短接至 SENSE1	3V3 对 VDD 短路，检测到 OV	NSR	0.045	NV			0.0000	NV			0.000
感应 1	引脚开路	OV 监控丢失	SR	0.210	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.210
	接地短路	OV 监控丢失	SR	0.045	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.045
	短接至 SENSE2	没有影响	NSR	0.045	NV			0.0000	NV			0.000
感应 2	引脚开路	UV 监控丢失	SR	0.210	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.210
	接地短路	3V3 短接至 GND，检测到 UV	NSR	0.045	NV			0.0000	NV			0.000
	短接至 RESET1	UV 监控丢失	SR	0.045	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.045
RESET1	引脚开路	OV 监控丢失	SR	0.210	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.210
	接地短路	RESET1 为低电平，这是安全状态	NSR	0.045	NV			0.0000	NV			0.000
	短接至 RESET2	没有影响	NSR	0.045	NV			0.0000	NV			0.000

表 3-6. TPS37A-Q1 引脚级 FMEDA 分析（续）

					单点故障				潜在故障			
引脚名称	失效模式	失效模式的影响	要在计算中考虑的安全相关要素	失效率	在缺乏安全机制的情况下有可能有悖安全目标的失效模式	防止失效模式有悖安全目标的安全机制	与有悖安全目标相关的失效模式覆盖	残余或单点故障率	与另一个元件的独立失效相结合可能导致有悖安全目标的失效模式	检测方法？防止失效模式具有隐蔽性的安全机制？	与潜在失效相关的失效模式覆盖	潜在多点故障失效率
			SR/NSR	FIT	V/NV	SM/NSM	%	FIT	V/NV	SM/NSM	%	FIT
RESET2	引脚开路	UV 监控丢失	SR	0.210	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.210
	接地短路	RESET2 为低电平，这是安全状态	NSR	0.090	NV			0.0000	NV			0.000
CTR1/MR	引脚开路	没有影响	NSR	0.210	NV			0.0000	NV			0.000
	接地短路	RESET1 为低电平，这是安全状态	NSR	0.045	NV			0.0000	NV			0.000
	短接至 CTS1	计时不可靠	SR	0.045	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.045
CTS1	引脚开路	没有影响	NSR	0.210	NV			0.0000	NV			0.000
	接地短路	RESET1 为低电平，这是安全状态	NSR	0.045	NV			0.0000	NV			0.000
	短接至 CTS2	计时不可靠	SR	0.045	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.045
CTS2	引脚开路	没有影响	NSR	0.210	NV			0.0000	NV			0.000
	接地短路	RESET2 为低电平，这是安全状态	NSR	0.045	NV			0.0000	NV			0.000
	短接至 CTR2/MR	计时不可靠	SR	0.045	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.045
CTR2/MR	引脚开路	没有影响	NSR	0.210	NV			0.0000	NV			0.000
	接地短路	RESET2 为低电平，这是安全状态	NSR	0.045	NV			0.0000	NV			0.000
	短接至 GND	RESET2 为低电平，这是安全状态	NSR	0.045	NV			0.0000	NV			0.000
GND	引脚开路	器件未供电，OV/UV 监控丢失	SR	0.210	NV			0.0000	V	NSM	0%	0.210
	接地短路	没有影响	NSR	0.090	NV			0.0000	NV			0.000
总				3.00				0.00				1.53

3.6 LM63625-Q1 和 TPS37A-Q1 的总体 FMEDA 分析

将表 3-2、表 3-5 和表 3-6 的总时基故障率、残余故障或单点故障以及潜在故障相加，可生成整体时基故障率。然后，您可以计算出此设计的最终 SPFM = 99.55%，LFM = 81.74%（表 3-7），证明采用 LM63625-Q1 和 TPS37A-Q1 的 TI 电源设计满足 ASIL B 标准。

表 3-7. LM63625-Q1 和 TPS37A-Q1 的总体 FMEDA 分析

		芯片 (LM63625)	封装 (LM63625)	芯片 (TPS37A)	封装 (TPS37A)	总计
总时基故障	λ_S	7.0000	5.0000	2.0000	3.0000	17.0000
残余故障和单点故障	λ_{SPF} 和 λ_{RF}	0.0420	0.0113	0.0000	0.0000	0.0533
潜在故障	$\lambda_{MPF,L}$	0.0000	0.0000	1.5600	1.5300	3.0900
单点失效指标	SPFM	99.40%	99.77%	100.00%	100.00%	99.69%(1)
潜在失效指标	LFM	100.00%	100.00%	22.00%	49.00%	81.77%(2)

(1) SPFM = 1 – 0.0533 / 17 = 99.69%
(2) LFM = 1 – 3.09 / (17-0.0533) = 81.77%

4 总结

安全关键型汽车应用必须确保系统不仅满足功能和性能要求，还满足功能安全标准。本文提供的 TI 设计采用与监控器相结合的 TI 电源 IC 来创建高性能而可靠且符合 ASIL-B 标准的产品。该设计可扩展到 ADAS、数字驾驶舱和仪表组等终端设备。

5 其他资源

- 德州仪器 (TI)，*LM636xx-Q1 功能安全时基故障率、FMD 和引脚 FMA* 功能安全信息
- 德州仪器 (TI)，*TPS37-Q1 和 TPS38-Q1 功能安全时基故障率、FMD 和引脚 FMA* 功能安全信息

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出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