

对Kinetis E系列MCU实施IEC 60703 B类测试

作者: Jimmy Cheng

IEC 60730安全标准定义了确保家用电器嵌入式控制软件和硬件安全操作的测试和诊断方法。

IEC 60730将适用的设备分成了3类:

- A类 — 不用于确保设备的安全性。例如: 湿度控制、照明控制、定时器。
- B类 — 用于防止受控设备的不安全运行。例如: 洗衣设备的热熔切断和门锁。
- C类 — 用于防止特殊危险, 如受控设备爆炸等。例如: 自动燃烧器控制、燃气受控烘干机。

Kinetis E系列器件集成了Cortex-M0+处理器, 带有看门狗和CRC等安全模块, 以及丰富的内部模块, 如ICS、存储器模块 (Flash及EEPROM、RAM)、定时器 (FTM、RTC、PIT)、通信接口 (SPI、I²C和UART)、人机接口 (GPIO、KBI) 和模拟模块 (ADC、ACMP和6位DAC、Bandgap基准电压源) 等。它可灵活用于工业控制设备和家用电器开发。此应用笔记描述如何实施Kinetis E系列IEC 60730 B类测试。

目录

1. IEC 60730 B要求	2
2. CPU寄存器测试	3
3. 程序计数器测试	3
4. 中断处理和执行测试	4
5. 时钟测试	4
6. 看门狗测试	4
7. Flash测试	5
8. RAM测试	6
9. 存储器地址测试	8
10. 内部数据通路测试	8
11. 通信测试	8
12. 通用IO测试	9
13. 模拟外设测试	9
14. 模拟多路复用器测试	9
15. Freescale IEC 60730安全库	9
16. 结语	10
17. 参考文献	10
18. 术语表	10
19. 附录	10

1 IEC 60730 B要求

IEC 60730规定自动电子控制设备的制造商必须使用下面的一种结构设计其软件：

- 单通道，带功能测试
- 单通道，带定期自检
- 双通道，无比较

在“单通道，带功能测试”结构中，设计软件时使用单个CPU执行所需的功能。在交付之前执行功能测试，以确保所有关键功能可靠地工作。

在“单通道，带定期自检”结构中，设计软件时使用单个CPU执行所需的功能，但电子控制设备在应用中执行时将进行定期自检。CPU将会定期检查电子控制设备的各种关键功能，避免与最终应用的操作冲突。

在“双通道，无比较”结构中，设计软件时使用两个CPU执行关键功能。在执行关键功能之前，要求两个CPU共享它们已完成各自的任务。例如，当释放洗衣设备的门锁时，一个CPU停止旋转转筒的电机，另一个CPU检查转筒速度以验证它已停止。

双通道结构需要两个CPU（或两个MCU），所以这种结构的实现成本更高。而两个器件之间定期相互通信的需求也增加了其复杂性。“单通道，带功能测试”是目前实现的最常用的结构，而大多数电器制造商正在尝试采用“单通道，带自检”结构。

附录H.表H.11.12.7详述了必须测试的组件，具体取决于软件分类。总体来说，每个组件配有用来验证/测试相应组件的可选方案，便于制造商灵活采用。本应用笔记旨在通过尽可能使用单片型微控制器的板载功能，来实现最具成本效益的方案。

表 1 概述了IEC 60730-1:2010标准中的附录H：表H.11.12.7。附录H中的该表列出了为符合IEC 60730可能需要考虑的所有MCU内部模块。

表 1. EC 60730 B组件概要

	IEC60730 B类组件	故障/错误
1	1.1 CPU寄存器	停滞
2	1.3 程序计数器	停滞
3	2. 中断处理与执行	无中断或中断太频繁
4	3. 时钟	错误频率（精度检查）
5	4.1 Flash	所有单个数位故障
6	4.2 RAM	直流故障
7	4.3 存储器地址	停滞
8	5. 内部数据通路	停滞
9	5.2 寻址（单个MCU不需要）	错误地址
10	6. 通信	汉明距离（损坏检查）
11	6.3 定时	时间/序列的错误点

12	7. 输入/输出外设(GPIO)	H.27中指定的故障情况
13	7.2.1 ADC和DAC	H.27中指定的故障情况
14	7.2.2 模拟多路复用器	错误寻址

2 CPU寄存器测试

表 2 显示了cortex-M0+内核寄存器组的概要。所有这些寄存器的宽度均为32位。

表 2. 处理器内核寄存器组概要

名称	说明
R0-R12	R0-R12 寄存器是用于数据操作的通用寄存器。
SP (R13)	堆栈指针(SP)是 R13。在线程模式下，CONTROL 寄存器指示要使用的堆栈指针，即主堆栈指针(MSP)或进程堆栈指针(PSP)。
LR (R14)	链路寄存器(LR)是 R14。它存储有关子例程、函数调用和异常的返回信息。
PC (R15)	程序计数器(PC)是 R15。它包含当前的程序地址。
PSR	程序状态寄存器(PSR)组合了： <ul style="list-style-type: none"> • 应用程序状态寄存器(APSR)。 • 中断程序状态寄存器(IPSR)。 • 执行程序状态寄存器(EPSR)。 这些寄存器为 PSR 提供不同的查看角度。
PRIMASK	PRIMASK 寄存器防止激发具有可配置优先级的所有异常。有关处理器支持的异常模型的信息。
CONTROL	当处理器处于线程模式时，CONTROL 寄存器可控制所使用的堆栈和选择性地控制代码特权等级。

CPU通用寄存器R0~R12的检查方式：向寄存器写入序列0x55555555，然后将寄存器中的值与另一数据寄存器中的立即值进行比较。随后，将为此寄存器值载入“补码”值0xAAAAAAAA，并对照另一数据寄存器中的立即值0xAAAAAAAA进行验证。堆栈指针寄存器和特殊寄存器测试与0x55555555和0xAAAAAAAA测试模式相同。

3 程序计数器测试

由于受到Kinetis存储器组织和Kinetis CPU行为的限制，PC寄存器的测试不可能顾及到所有位。对于较小的测试代码片段，存在链接器文件和flash存储器分配问题。由于Flash存储器将用于测试PC寄存器，这会导致用户应用程序分裂以及用户代码问题。出于这些原因，只能将测试代码置于RAM存储器内，因而无法测试有效地址范围的三个MSB位。另一个问题是关于PC寄存器的LSB位，因为Kinetis内核无法对奇数地址寻址，因此测试不到LSB位。总之，32位PC寄存器只能使用29位来对CORTEX M0+的flash和RAM存储器的整个地址范围寻址。Kinetis内核限制只能测试29位。

4 中断处理和执行测试

中断测试旨在检查可能定期发生的中断。在实时嵌入式应用中，MCU基本上始终使用中断对实时事件作出反应，以帮助CPU优先处理关键任务或功能。IEC 60730要求验证一个关键功能的中断作用符合预期状态。如果无中断发生或太多中断发生，则电子控制设备的功能正常。

可按指定的时间间隔调用中断测试功能。可由定时器中断触发它来监测和验证中断操作。例如，常规RTC中断每隔1s发生一次，可将PIT中断设置为每隔1ms，当下一个RTC中断产生时，PIT中断计数器应加上1000。

5 时钟测试

时钟测试着重强调系统时钟和总线时钟测试；时钟不得过快或过慢。而且，有必要验证内部参考时钟、外部晶体、LPO和FLL的功能。执行此测试的另一种方法是使用通信总线（如SPI）来测量SPI时钟定时。然后将测出的结果与理论值比较。

6 看门狗测试

看门狗测试包括检查看门狗复位可能性及其刷新机制。

Kinetis E系列中的看门狗测试的特点：

- 可配置输入时钟源，来自内部32 KHz振荡器、1 KHz (LPO)和外部时钟源。
- 可编程的16位超时值。
- 稳健的写序列，可用于计数器刷新。在16个总线时钟内，先写0x02A6后写0x80B4的刷新序列。
- 刷新机制的窗口模式选项。窗口模式使能时，必须在计数器达到最小窗口时间值后刷新看门狗；否则，看门狗会复位MCU。
- 可编程的16位窗口值。
- CPU中断请求，产生相应的中断向量，并可执行相应的中断服务例程(ISR)。在中断产生128个总线时钟后，强制复位。
- 看门狗配置位为复位后一次写入位，确保无法误更改看门狗的配置。
- 稳健的写入序列，用于解锁一次写入配置位。在16个总线时钟内，先写入0x20C5后写入0x28D9的解锁序列，允许一次写入配置位的更新。软件必须在解锁后的128个总线时钟内且WDOG关闭解锁窗口前完成更新。

SIM_SDID寄存器[WDOG]位记录看门狗复位产生之后的看门狗复位事件。

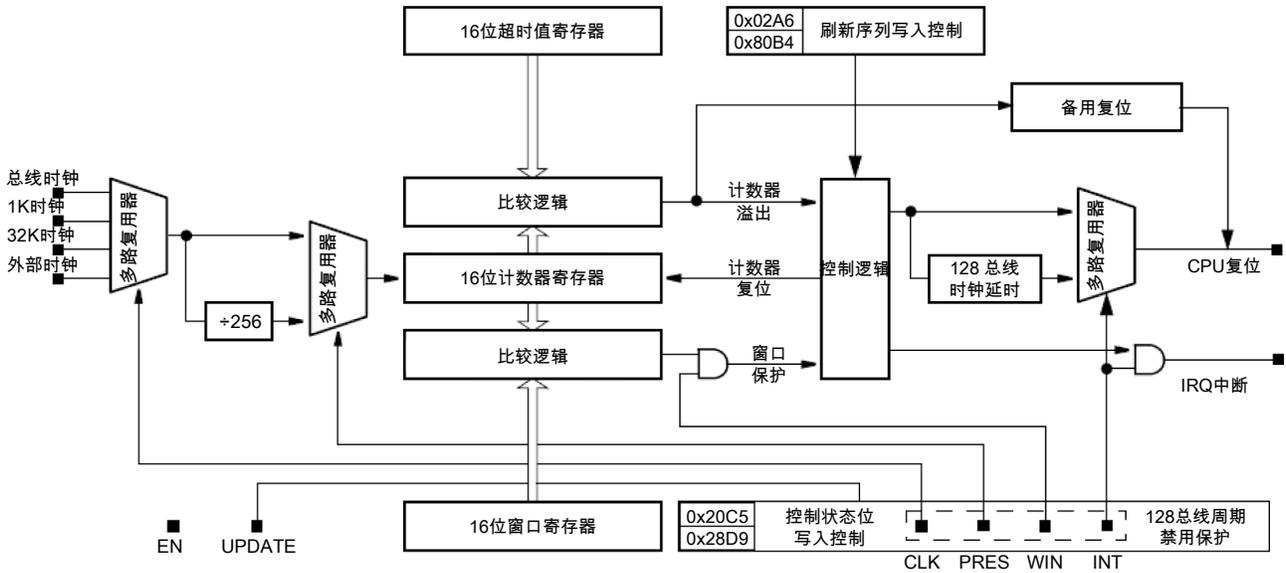


图 1. Kinetis E系列看门狗图解

7 Flash测试

存储器测试功能很有必要，如基于软件的CRC校验和March测试。这些功能可用于定期（如定期自检）或加电时（如加电软件例程）检查存储器完整性。设备硬件中支持存储器访问冲突检测，用来指示任何错误或不可预知的存储器访问。

Flash编程通常采用Motorola S-record（.srec或.s19）文件。S记录文件中填写了基本校验和。S-Record格式包括5个字段。分别是类型字段、长度字段、地址字段、数据字段和校验和。每行总是以大写S字符开头。

S	类型	记录长度	地址	数据	校验和
---	----	------	----	----	-----

类型：类型字段是一个单字符字段，指定记录是S0、S1、S2、S3、S5、S6、S7、S8还是S9字段。

记录长度：记录长度字段是含两个字符（1个字节）的字段，指定记录中的字符对（字节）数，不包括类型和记录长度字段。

地址：这是2、3或4个字节的地址，指定S-Record中的数据将加载到存储器中的何处。

数据：数据字段包含要传输的可执行代码、存储器可加载数据和描述性信息。

校验和：校验和是一个8位字段（1个字节），由构成记录长度、地址以及数据字段的所有字符对代表的值相累加，对结果求补码，取最后一个字节。

如何获取一个S行上的校验和，例如：

S11317C0C046C046C046C046FFF766FF1C1814104A

从S格式，我们可以获得校验和为0x4A。

校验和 = $0xFF - ((0x13 + 0x17 + 0xC0 + 0xC0 + 0x46 + 0xC0 + 0x46 + 0xC0 + 0x46 + 0xC0 + 0x46 + 0xFF + 0xF7 + 0x66 + 0xFF + 0x1C + 0x18 + 0x14 + 0x10) \& 0xFF) = 0x4A$ 。

此检验和太简单，它可能无法检测代码中多个字节上的错误，且可能无法检测校验和自身的错误。因此，它对flash测试来说不可靠。在flash单个数位故障检测中，必须采用循环冗余校验(CRC)算法。

Kinetis E系列带有硬件CRC模块，可为Flash、RAM和通信传输与验证提供快速机制。

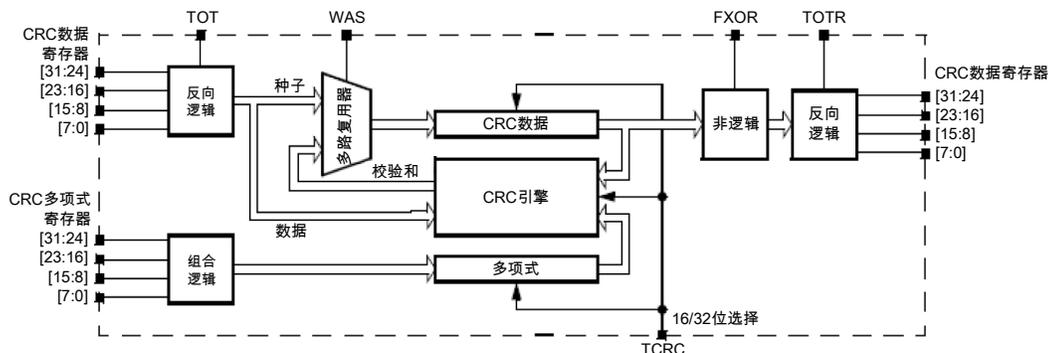


图 2. Kinetis E系列CRC图解

一些常用CRC除数如下：

- CRC-16 = 1 1000 0000 0000 0101 = 8005 （16进制）
- CRC-CCITT = 1 0001 0000 0010 0001 = 1021 （16进制）
- CRC-32 = 1 0000 0100 1100 0001 0001 1101 1011 0111 = 04C11DB7 （16进制）

8 RAM测试

RAM测试旨在检查控制RAM存储器的任何数位均无故障。一些RAM故障模型如下：

停滞故障(SAF) — 单元或行的逻辑值始终为0或1。

变换故障(TF) — 单元或行无法进行0?1或1?0变换。

耦合故障(CF) — 对一个单元的写入操作更改了另一单元的内容。

相邻矢量敏化故障(NPSF) — 单元的内容或更改其内容的能力受存储器中一些其他单元的内容影响。

地址解码故障(AF) — 任何影响地址解码器的故障：

- 使用某个地址时，无法访问任何单元。
- 对某个单元永远无法访问。
- 使用某个地址可同时访问多个单元。
- 可通过多个地址访问某个单元。

March测试是用于检测AF、SAF、TF和CF的最简单、高效的测试。表 3列出了一些常用的March测试算法。

表 3. March算法

名称	算法
March X	$\{ \downarrow (w0); \uparrow (r0, w1); \downarrow (r1, w0); \downarrow (r0) \}$
March C-	$\{ \downarrow (w0); \uparrow (r0, w1); \uparrow (r1, w0); \downarrow (r0, w1); \downarrow (r1, w0); \downarrow (r0) \}$
March C	$\{ \downarrow (w0); \uparrow (r0, w1); \uparrow (r1, w0); \downarrow (r0); \downarrow (r0, w1); \downarrow (r1, w0); \downarrow (r0) \}$
March B	$\{ \downarrow (w0); \uparrow (r0, w1, r1, w0, r0, w1); \uparrow (r1, w0, w1); \downarrow (r1, w0, w1, w0); \downarrow (r0, w1, w0) \}$

键:

\downarrow : 指示升序或降序

\uparrow : 指示地址升序

\downarrow : 指示地址降序

w0: 在当前位置写入0

w1: 在当前位置写入1

r0: 读取当前位置, 期望0

r1: 读取当前位置, 期望1

(...): 算法元素

$\{(\dots), (\dots), \dots, (\dots)\}$: 完整算法

例如:

March X: $\{ \downarrow (w0); \uparrow (r0, w1); \downarrow (r1, w0); \downarrow (r0) \}$

第1步: $\downarrow (w0)$

按上升或下降地址顺序将0写入所有存储器。

第2步: $\uparrow (r0, w1)$

从低地址到高地址扫描存储器位置, 检查读取的位是否为0。否则, 测试在此位上失败。

或者, 从低地址到高地址将1写入存储器。

第3步: $\downarrow (r1, w0)$

从高地址到低地址扫描存储器位置, 检查读取的位是否为1。否则, 测试在此位上失败。

或者, 从高地址到低地址将0写入存储器。

第4步: $\downarrow (r0)$

按上升或下降地址顺序读取所有存储器的0。并检查读取的位是否为0。否则, 测试在此位上失败。

关于RAM测试, 可实现两种不同的算法, 如以下各节所述。测试例程自身具有破坏性。为形成透明的测试模式, RAM划分成四个区段(0 - 3), 当对其执行测试模式时, 区段3将用作临时复制其他区段的冗余区域。该函数首先检查SP是否位于区块3中, 如果它在, 则返回错误码且该函数不会继续执行。如果数据SP不在区块3中, 则检查区块3。然后该函数应用。

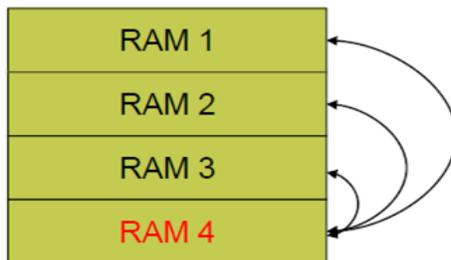


图 3. 透明的测试模式

将RAM划分为四个区段。第四个区段为“阴影”RAM，用于临时存储其他区段的变量，直到完成March测试。例如，在RAM1测试流程中完成以下操作：

- RAM 1复制到RAM 4
- 验证复制成功
- 在RAM 1上部署MARCH测试
- 将RAM 4复制到RAM 1
- 验证复制成功
- 部署正常的应用程序代码

9 存储器地址测试

针对RAM的定期静态存储器测试和针对Flash的定期校验有助于发现内部地址总线上的停滞故障。例如，如果地址总线上有停滞故障，则这两种测试均会产生错误。

10 内部数据通路测试

对于单片微控制器，其测试与存储器地址测试相似。

11 通信测试

外部通信测试应按照下面各项的指示完成。

11.1 传输冗余测试

传输冗余是一项故障/错误控制技术，可防止输入和输出信息中的巧合错误和/或系统性错误。该技术通过在发射器与接收器之间传输数据来实现。数据应至少连续两次传输成功，然后进行比较。

11.2 协议测试

协议测试是一项故障/错误控制技术，通过该技术在计算机组件之间传输数据，以检测内部通信协议中的错误。

11.3 CRC单字测试

CRC多项式用于计算传输消息的CRC校验和。在发送端，会将此CRC校验和附加在即将传输的消息上。在接收端，接收器使用同一CRC多项式计算CRC校验和，并比较计算的值与接收的值。

12 通用IO测试

Kinetis E系列上的通用IO引脚可单独配置为输入或输出。这些引脚还支持单独上拉功能，可用于防止未用I/O引脚的浮置输入状态。用户软件可在通用IO端口引脚上定期执行已知的状态检查以监测期望的I/O状态。此外，Kinetis E系列器件带有置位、清零和触发寄存器，可控制通用IO引脚的输出状态。

有必要检测实际的电压电平，高电平为“1”，低电平为“0”，以便可接受通用IO的输入。

13 模拟外设测试

Kinetis E系列中的模拟外设包括ADC、内部Bandgap基准电压源参考（约1.2V）和带6位DAC的ACMP。对ADC的真实性检查可确保A/D结果在可接受的A/D漂移计数之内。通过将已知的外部电压与内部6位DAC进行比较，可检查正确的比较器操作。

14 模拟多路复用器测试

模拟多路复用器确保可选的模拟通道的正确操作。例如，ADC具有23个模拟输入通道，要验证模拟多路复用器的操作，对所有外部输入通道施加已知的电压值。读取这些值并与施加的电压比较以便验证。另外，温度传感器通道与Bandgap基准电压源通道内部相连，可通过读取ADC转换结果检查这两个通道。

15 Freescale IEC 60730安全库

Freescale已开发出多种安全特性，包括IEC 60730安全库，可帮助大型电器和工业控制市场的自动控制的制造商符合IEC 60730 B类规范。这些安全功能包含硬件和软件，适用于S08、Kinetis（Cortex-M4和Cortex-M0+内核）和DSC系列微控制器。

Freescale IEC 60730安全库测试涵盖CPU寄存器、CPU指令、RAM、Flash和看门狗测试。

为了满足IEC 60730的要求，Freescale整合了关键的硬件功能。独立时钟看门狗定时器为监测以下信息提供了安全机制：

- 软件的流量
- 中断处理与执行
- CPU时钟(过快、过慢，以及无时钟信号)
- CRC引擎 — 这为测试Flash存储器和检查串行通信协议（UARTS、I²C和SPI）提供了快速机制

可通过freescale.com获取Freescale IEC 60730安全库的更多信息（搜索“家用电器的IEC 60730安全标准”）。

16 结语

本应用笔记阐述如何使用Kinetis E系列器件来满足IEC 60730 B类要求。

17 参考文献

MKE02Z64M20SF0RM参考手册

AN4873针对Kinetis MCU的IEC 60730B安全例程

AN3257借助MC9S08AW6实现IEC 60730 B类合规

18 术语表

ISR: 中断服务例程

WDOG: 看门狗

CRC: 循环冗余校验

ACMP: 模拟比较器

SAF: 停滞故障

19 附录

表 4. IEC 60730-1 表 H.11.12.7

组件	故障/错误	软件类		可接受的措施		定义
		B类	C类			
1.CPU						
1.1 寄存器	停滞	rq		功能测试， 定期使用以下任一方法自检 - 静态存储器测试 - 字保护，带单个数位冗余	或	H.2.16.5
						H.2.16.6
					或	H.2.19.6
						H.2.19.8.2

表 4. IEC 60730-1 表 H.11.12.7 (续)

1. CPU	直流故障		rq	通过以下任一方法比较冗余CPU		
1.1 寄存器				- 相互比较		H.2.18.15
				- 独立硬件比较器	或	H.2.18.3
				内部错误检测,	或	H.2.18.9
				冗余存储器, 带比较	或	H.2.19.5
				定期使用以下任一方法自检		
				- walkpat存储器测试		
				- Abraham测试		
				- 透明GALPAT测试		
				字保护, 带多个数位冗余静态存储器测试和		H.2.19.7
				字保护带单个数位冗余		H.2.19.1
					或	H.2.19.2.1
					或	H.2.19.8.1
						H.2.19.6
						H.2.19.8.2
1.2 指令解码和执行	错误解码和执行		rq	通过以下任一方法比较冗余CPU		
				- 相互比较		H.2.18.15
				- 独立硬件比较器	或	H.2.18.3
				内部错误检测,	或	H.2.18.9
				定期使用同等类别的测试自检	或	H.2.18.5
1.3 程序计数器	停滞	rq		功能测试,	或	H.2.16.5
				定期自检	或	H.2.16.6
				独立时隙监测,	或	H.2.18.10.4
				程序顺序的逻辑监测	或	H.2.18.10.2
				定期使用以下任一方法自检和监测		
				独立时隙和逻辑监测		
				- 内部错误检测		H.2.16.7
				通过以下任一方法比较冗余功能通道	或	H.2.18.10.3
			rq	- 相互比较	或	H.2.18.9
				- 独立硬件比较器	或	
					或	H.2.18.15
						H.2.18.3

表 4. IEC 60730-1 表 H.11.12.7 (续)

1.4 寻址	直流故障		rq	通过以下任一方法比较冗余CPU - 相互比较 - 独立硬件比较器 内部错误检测 定期使用以下测试模式自检: 地址行 包括地址在内的全位总线奇偶检验		
						H.2.18.15
					或	H.2.18.3
					或	H.2.18.9
						H.2.16.7
					或	H.2.18.22
						H.2.18.1.1
1.5 数据通路 指令解码	直流故障和执行		rq	通过以下任一方法比较冗余CPU - 相互比较 - 独立硬件比较器 内部错误检测 定期使用以下测试模式自检: 数据冗余 多位总线奇偶校验		
						H.2.18.15
					或	H.2.18.3
					或	H.2.18.9
						H.2.16.7
					或	H.2.18.22
						H.2.18.1.2
2. 中断处理和 执行	或太频繁中断	rq		功能测试, 时隙监测	或	H.2.16.5
						H.2.18.10.4
	无中断或与不同 来源相关的中断 太频繁		rq	通过以下任一方法比较冗余功能通道: - 相互比较 - 独立硬件比较器, - 独立时隙和逻辑监测		
					或	H.2.18.15
					或	H.2.18.3
						H.2.18.10.3
3. 时钟		rq		频率监测 时隙监测	或	H.2.18.10.1
						H.2.18.10.4
	错误频率用于 石英同步时钟; 谐波/次谐波仅		rq	频率监测 时隙监测 通过以下任一方法比较冗余功能通道: - 相互比较 - 独立硬件比较器,	或	H.2.18.10.1
					或	H.2.18.10.4
					或	H.2.18.15
						H.2.18.3
4. 存储器						
4.1 常量存储器	所有单个数位 故障	rq		定期修改的校验和 多个校验和 字保护, 带单个数位冗余	或	H.2.19.3.1
					或	H.2.19.3.2
						H.2.19.8.2

表 4. IEC 60730-1 表 H.11.12.7 (续)

	99.60%覆盖 所有信息错误		rq	通过以下任一方法比较冗余CPU - 相互比较 - 独立硬件比较器, 冗余存储器, 带比较 定期循环冗余校验, 以下任一方法: - 单字 - 双字 字保护, 带多个数位冗余		
					或	H.2.18.15
					或	H.2.18.3
					或	H.2.19.5
					或	H.2.19.4.1
					或	H.2.19.4.2
						H.2.19.8.1
4.2 可变存储器	直流故障		rq	定期静态存储器测试, 字保护, 带单个数位冗余	或	H.2.19.6
						H.2.19.8.2
	直流故障 和动态 交叉链接		rq	通过以下任一方法比较冗余CPU - 相互比较 - 独立硬件比较器, 冗余存储器, 带比较 定期使用以下任一方法自检 - walkpat存储器测试 - Abraham测试 - 透明GALPAT测试 字保护, 带多个数位冗余		
					或	H.2.18.15
					或	H.2.18.3
					或	H.2.19.5
						H.2.19.7
						H.2.19.1
					或	H.2.19.2.1
					或	H.2.19.8.1
4.3 寻址	停滞		rq	字保护, 带单个数位奇偶校验, 包括地址	或	H.2.19.18.2
(与可变存储器 和不可变存储器 相关)						
	直流故障		rq	通过以下任一方法比较冗余CPU - 相互比较 - 独立硬件比较器, 完整的总线冗余 测试模式 定期循环冗余校验, 以下任一方法: - 单字 - 双字 字保护, 带多个数位冗余, 包括地址		
					或	H.2.18.15
					或	H.2.18.3
						H.2.18.1.1
						H.2.18.22
					或	H.2.19.4.1
					或	H.2.19.4.2
						H.2.19.8.1

表 4. IEC 60730-1 表 H.11.12.7 (续)

5. 内部数据通路	停滞直流故障	rq		字保护, 带单个数位奇偶校验, 包括地址 通过以下任一方法比较冗余CPU - 相互比较 - 独立硬件比较器,		H.2.19.18.2
			rq			
					或	H.2.18.15
					或	H.2.18.3
5.1 数据				字保护, 带多个数位冗余 包括地址, 或数据冗余, 测试模式 协议测试	或	H.2.19.8.1
					或	H.2.18.2.1
					或	H.2.18.22
						H.2.18.14
5.2 寻址	错误地址	rq		字保护, 带多个数位冗余, 包括地址 通过以下任一方法比较冗余CPU - 相互比较 - 独立硬件比较器, 字保护, 带多个数位冗余 包括地址, 或数据冗余, 测试模式		H.2.19.8.1
						rq
					或	H.2.18.15
					或	H.2.18.3
					或	H.2.19.8.1
					或	H.2.18.2.1
					或	H.2.18.22
6 外部通信				字保护, 带多个数位冗余, CRC — 单字 传输冗余 协议测试	或	H.2.19.8.1
					或	H.2.19.4.1
					或	H.2.18.2.2
						H.2.18.4
6.1 数据	汉明距离为4		rq	CRC — 双字 数据冗余或冗余功能通道的比较采用以下任一方法: - 相互比较 - 独立硬件比较器	或	H.2.19.4.2
					或	H.2.18.2.1
					或	H.2.18.15
						H.2.18.3
6.2 寻址	错误地址		rq	字保护, 带多个数位冗余, 包括地址 CRC单字, 包括地址 传输冗余 协议测试	或	H.2.19.8.1
					或	H.2.19.4.1
					或	H.2.18.2.2
						H.2.18.14
	错误和多个寻址		rq	CRC双字, 包括地址 数据和地址的完整总线冗余 通过以下任一方法比较冗余通信通道: - 相互比较 - 独立硬件比较器	或	H.2.19.4.2
或					H.2.18.1.1	
或					H.2.18.15	
						H.2.18.3

表 4. IEC 60730-1 表 H.11.12.7 (续)

6.3 定时	错误的时间点	rq	rq	时隙监测	或	H.2.18.10.4	
				预定传输	和	H.2.18.18	
			rq	rq	独立时隙和逻辑监测	或	H.2.18.10.3
					通过以下任一方法比较冗余通信通道:		
					- 相互比较		
					- 独立硬件比较器,	或	H.2.18.15
						H.2.18.3	
	错误序列	rq		逻辑监测	或	H.2.18.10.2	
				时隙监测	或	H.2.18.10.4	
				预定传输		H.2.18.18	
7 I/O 外设	故障情况 见H.27	rq		真实性检查		H.2.18.13	
				rq	通过以下任一方法比较冗余CPU		
					- 相互比较	或	H.2.18.15
					- 独立硬件比较器,	或	H.2.18.3
					输入比较	或	H.2.18.8
					多个并行输出	或	H.2.18.11
					输出验证	或	H.2.18.12
					测试模式	或	H.2.18.22
					代码安全		H.2.18.2
7.2 模拟I/O							
7.2.1 A/D和D/A 转换器	故障情况 见H.27	rq		真实性检查		H.2.18.13	
				rq	通过以下任一方法比较冗余CPU		
					- 相互比较	或	H.2.18.15
					- 独立硬件比较器,	或	H.2.18.3
					输入比较	或	H.2.18.8
					多个并行输出	或	H.2.18.11
					输出验证	或	H.2.18.12
				测试模式		H.2.18.22	
7.2.2 模拟多路 复用器	错误寻址	rq		真实性检查		H.2.18.13	

表 4. IEC 60730-1 表 H.11.12.7 (续)

			rq	通过以下任一方法比较冗余CPU - 相互比较 - 独立硬件比较器, 输入比较 测试模式		
					或	H.2.18.15
					或	H.2.18.3
					或	H.2.18.8
						H.2.18.22
8. 监测设备和比较器	不符合静态和动态功能特性的任何输出		rq	测试的监测冗余监测和比较错误识别方法	或	H.2.18.21
					或	H.2.18.17
						H.2.18.6
9. 自定义芯片 (例如ASIC、GAL 门阵列)	不符合静态和动态功能特性的任何输出		rq	定期自检		H.2.16.6
			rq	定期自检和监测双通道 (不同), 带比较, 错误识别方法	或	H.2.16.7
					或	H.2.16.2
						H.2.18.6

How to Reach Us:

Home Page:

Freescale.com

Web Support:

Freescale.com/support

本文档中的信息仅供系统和软件实施方使用 Freescale 产品。本文并未明示或者暗示授予利用本文档信息进行设计或者加工集成电路的版权许可。Freescale 保留对此处任何产品进行更改的权利，恕不另行通知。

Freescale 对其产品在任何特定用途方面的适用性不做任何担保、表示或保证，也不承担因为应用程序或者使用产品或电路所产生的任何责任，明确拒绝承担包括但不限于后果性的或附带性的损害在内的所有责任。Freescale 的数据表和/或规格中所提供的“典型”参数在不同应用中可能并且确实不同，实际性能会随时间而有所变化。所有运行参数，包括“经典值”在内，必须经由客户的技术专家对每个客户的应用程序进行验证。Freescale 未转让与其专利权及其他权利相关的许可。Freescale 销售产品时遵循以下网址中包含的标准销售条款和条件: freescale.com/SalesTermsandConditions.

Freescale, the Freescale logo, and Kinetis are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc., Reg. U.S. Pat. & Tm. Off. ARM is the registered trademark of ARM Limited. ARM Cortex-M0+ is the trademark of ARM Limited. All other product or service names are the property of their respective owners.

© 2014 Freescale Semiconductor, Inc.

© 2014 飞思卡尔半导体有限公司。

Document Number: AN4989
Rev. 0, 08/2014

