

理解恩智浦微处理器上的注入电流

1 介绍

恩智浦半导体公司针对汽车市场研发了多款微控制器 (MCU)。

汽车微处理器的设计具有以下特性:

- 从 350 纳米 (nm) 到 90 纳米的晶圆工艺技术¹
- 针对不同用途, 例如动力总成发动机控制器, 车身控制器, 底盘控制器, 安全控制器和集群/信息娱乐
- 整体MCU性能——8位, 16位, 和32位
- 广泛的价格目标, 从低成本的最小功能集到高性的 MCU

所有这些因素都会影响器件可以承受的允许注入电流, 不会对器件寿命造成任何长期影响通常, 注入电流在内部结构上感应出高于器件工作电压的电压会降低晶体管和其他内部电路的寿命。但是, 所有这些条件都被考虑在内, 并包含在每个MCU的设计中, 以确保适当的设备寿命。

1. 55nm 器件目前正在开发和认证中。本文档的未来版本中将添加55nm 器件示例。

目录

1	介绍	1
2	典型的内部输入/输出电路	3
3	何为注入电流?	5
3.1	无注入电流	5
3.2	外部限制注入电流	5
3.3	由于过冲而注入	7
4	模拟输入注入的注意事项	7
5	注入电流的数据手册规范	7
6	示例数据手册摘录和测量数据	8
6.1	S12 示例	8
6.2	MPC5554 示例	10
6.3	MPC567xF/MPC5676R 示例	13
6.4	MPC56xxB/C/D 示例	18
7	总结	21
A	温度轮廓	21
B	修订历史	22



简介

影响 MCU 注入电流容量的因素如下：

- 晶圆工艺技术（晶体管集合结构，对高压晶体管的支持）
- MCU最高的结温度，表明最高工作温度
- 预期的市场空间，这可能意味着生命周期内范围更宽的温度曲线²

下表显示了不同晶圆工艺技术和这些晶圆技术中的器件系列的最小晶体管尺寸。最小栅极尺寸的晶体管通常不用于器件的输入和输出（I/O）电路。通常，I/O 电路使用更大的晶体管，甚至使用更厚的栅极氧化物来延长MCU输入和输出电路的寿命。例如，在 90nm 和 55nm 工艺中，I/O 电路中使用的晶体管具有相同的晶体管栅极宽度（0.72微米 [720nm]）和相同的栅极氧化层厚度（150埃）。

下表显示了主要为汽车市场设计的MCU 范围。

表1. 示例器件和晶圆工艺尺寸

晶圆加工工艺 (最小二极管门尺寸)	示例器件
350 nm	MPC555
250 nm	MPC56x, S08D, S08S, S12, S12X, S12Z
180 nm	S08RN, S12, S12X, S12Z
130 nm	MPC5534, MPC555x, MPC556x
90 nm	MPC560xB, MPC560xC, MPC560xD, MPC560xP, MPC560xS, MPC563xM, MPC564xB, MPC564xA, MPC564xS, MPC567xF, MPC5676R
55 nm	MPC5744P, MPC5744K, MPC5746M, MPC5777M

除了晶体管的几何形状和类型之外，设计器件的最大连结温度还有允许注入电流的影响。大多数汽车 MCU 设计的最大连接温度为 (TJ) 150°C；然而，一些器件系列可能设计用于更高（165°C）或更低（125°C，甚至更低）的结温度。下表显示了不同类型汽车应用的典型结温。

表2. 市场空间与温度范围

市场空间	通常在汽车中的位置	通常所需的最高连结温度
信息娱乐	客舱内	100°C
车身	客舱外	115°C
安全	客舱内或客舱外，以及引擎舱外	115°C
底盘	客舱外，也可能在引擎舱内，但并不是直接安装在引擎上	125°C
动力	引擎舱内或变速器内	150°C甚至高达165°C

2. 引擎盖下动力总成应用的MCU，相较于用于客舱应用（例如底盘控制器或娱乐模块）的MCU，通常要求一个更高的温度曲线。

通常，汽车系统的电压通常高于 MCU 的工作电压。随着 CMOS 晶体管的几何尺寸越来越小，内部晶体管的安全工作电压也越来越低。因此，设备的输入和输出必须在 I/O 电路中使用更大几何尺寸的晶体管，以保护设备免受过高电压的影响，防止损坏设备的内部逻辑。每份 MCU 数据手册都指定了特定器件允许的许多不同规格，包括电源引脚³输入和输出引脚上的最大电压，以及可以注入引脚的最大电流。通常，在恩智浦的 MCU 上，会设计一些保护电路以允许在设备的所有引脚上注入一些电流；但是，器件数据手册中指出了少数例外情况。这些 I/O 保护电路根据 MCU 的要求和成本目标针对特定应用进行大小调整。

我们应该注意，每当电流注入器件的引脚时，电流必须消散。当设备电源开启时，这通常不是问题，除非总注入电流高于设备的电流要求，在这种情况下，电源本身必须能够处理这种电流。而在另一种情况下，即电源关闭时，注入电流可能会导致电源电压升到0伏以上。在这种情况下，需要确保电压不会过高，并且当电压低于设备的最低工作电压时，MCU要保持复位。

注意

当 MCU 处于未通电状态时，通过器件引脚注入的电流可能会使内部器件结构发生偏置（例如 ESD 二极管），并通过意外的路径错误地为这些内部结构供电。这种残余电压的存在可能会以一种不可预测的方式影响不同的器件内部模块，并可能最终导致不可预测的设备行为。

一旦处于非法状态，进一步给设备加电然后应用复位并不一定会清除非法状态。

在绝对最大额定值方面为器件指定的注入电流是指内部电路在不造成物理损坏的情况下承受这种条件的能力。设备在条件下的功能操作 - 指定为绝对最大额定值 - 未标明。

本应用笔记根据数据手册电气规范描述了正常推荐工作条件下的注入电流，以及允许短期违反器件绝对最大注入电流规范中列出的推荐工作条件的错误条件。本应用笔记还介绍了应采取哪些措施来保护 MCU 免受 I/O 引脚上的过压情况造成的任何损坏。

2 典型的内部输入/输出电路

所有引脚都采用了二极管保护，以防止静电放电 (ESD)。除了提供 ESD 保护之外，这些二极管电路还将电压钳位到高于该引脚段的电源电压的二极管压降⁴。在许多情况下，数字和模拟引脚都需要连接到高于器件引脚工作电压的电压，只要注入电流受到器件规范中定义的限制，这是允许的。可以通过在信号上添加一个串联电阻来限制电流。只要注入电流小于最大注入电流规范，输入保护二极管就会将引脚上的电压保持在安全水平（根据器件的绝对最大额定值）。

注意

在本文档的部分内容中，术语 VDDEx 和 VDDEHx 用于为器件外部引脚供电的通用电源电压，不论各个器件数据手册中使用的名称如何。VDDEx 代表低压电源（通常为3.3V或更低），而VDDEHx 代表高压电源（通常为5V，但也可能为3.3V）。

3. 无论器件是采用引线封装还是球栅阵列封装，都使用通用术语引脚。

4. 许多设备为一组 I/O 引脚提供单独的电源“段”。在某些设备中，这允许某些外围设备以不同的电压供电。例如，一个外设可能有 3.3 V I/O，而另一个外设可能有 5 V I/O。请参阅器件数据表以确定不同的 I/O 引脚集（段）是否具有单独的电源。

下图显示了一个引脚的典型 I/O 电路。

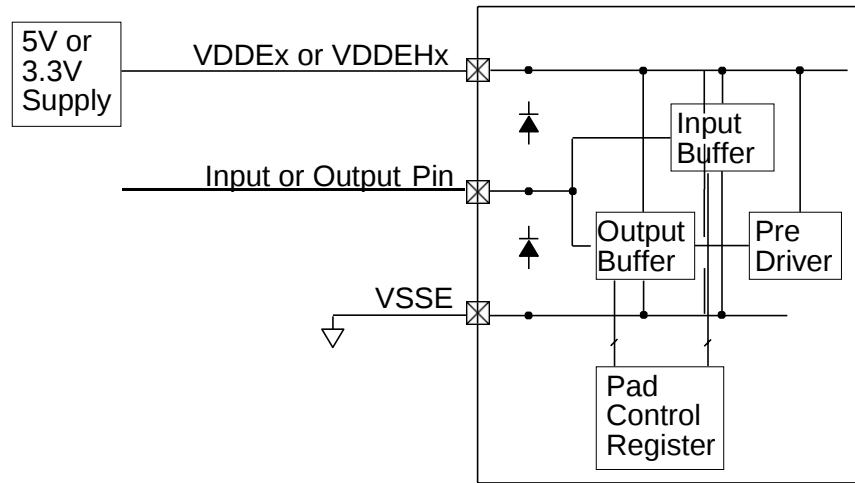


图1. 典型的 I/O 电路

引脚上的其他电路只能通过快速 ESD 瞬变来启用（这些电路未显示）。在正常操作中，这些电路对引脚特性没有影响，只会被非常快速的高电压瞬变触发。为防止在正常上电序列期间打开这些电路，大多数设备的电源（所有外部电源，5V，如果不使用内部稳压器，则为3.3V和1.2V）的斜率不应超过25V/ms（某些设备电源指定为50V/ms；请参阅设备的数据表）。

注意

参阅实际数据手册了解重要规格，尤其是最大电源斜坡速度。不同的设备可能有不同的规格。25V/ms 是 MPC5674F 和 MPC5676R 的规格，可能比指定为 50V/ms 的其他设备更具限制性。大多数设备属于这两种规格之一。需要限制斜坡速率以避免启用设备上的额外 ESD 保护电路。

某些器件系列（130nm [MPC5500 系列] 和某些 250nm 器件）使用浮动 ESD 导轨。所有电源和 I/O 引脚都连接到此浮动导轨。浮动轨将浮动到器件最高电压的1个二极管压降之上。如下图所示。

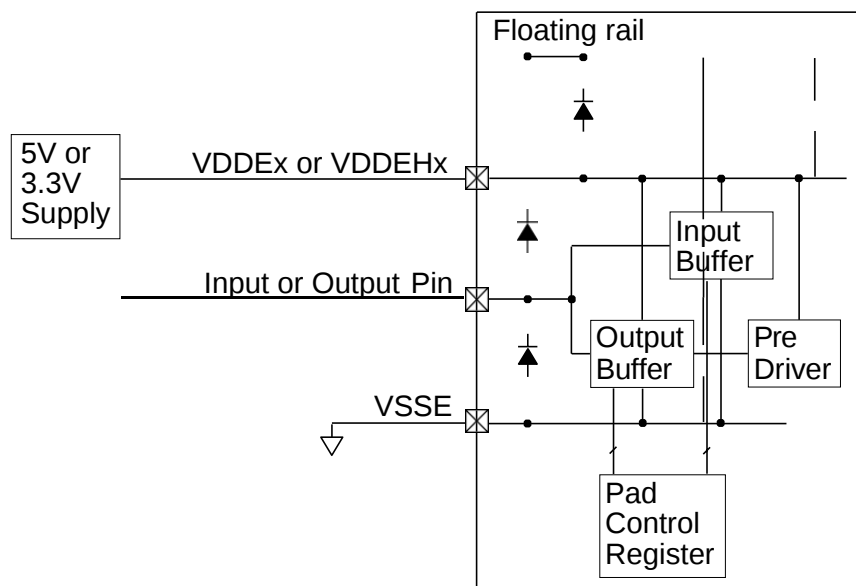


图2. 带有浮动导轨的典型 I/O 电路

3 何为注入电流？

每当引脚上的电压高于或低于为该引脚供电的电源电压时，电流就会注入或流出 MCU。

除了没有注入电流的情况外，本应用笔记还讨论了两种类型/范围的注入电流：

- 比外部电流限制的电源电压高 0.3V 以上的电压。在这种情况下，电压将受到片上二极管的限制，该二极管将限制在内部输入电路上看到的电压。
- 高于电源电压 0.3V 以上且不受外部电流限制的电压。这也适用于低于接地参考电压以下 0.3V 且不受外部电流限制的电压。

应该注意的是，最典型的注入电流示例发生在引脚的输入电压高于为引脚供电的实际电源电压时。对于大多数汽车 MCU，I/O 引脚由具有 $\pm 10\%$ 容差 5.0V（4.50V 至 5.50V）标称电源供电。但是，一些汽车 MCU 电压限制仅为 5.25V (+5%)。

注意

强烈建议将所有汽车设备的电源电压限制在 5.25V，而不管设备的最大工作电压是多少。这为注入电流提供了更多余量。

3.1 无注入电流

施加到接地参考 (VSS) - 0.3V 和电源电压 (VDD) + 0.3V 之间的 MCU I/O 引脚的电压不会引起任何注入电流。因此，对于电压从未超出这些限制的引脚，无需进行任何特殊处理。

3.2 外部限制注入电流

如果输入电压预计高于输入端的电源电压，则应添加外部电路来限制电流以保护 MCU 输入。在大多数情况下，只需要一个串联电阻。在某些情况下，可以使用电阻分压器。外部电阻器的大小应基于两个标准：

- 恒定或典型的注入电流。需要调整电阻器的大小，以确保注入引脚的平均电流低于器件数据手册中推荐的最大工作注入电流规范。在注入恒定电流时，最好保持尽可能低的电流。1mA 是一个合适的通用最大电流。
- 杂散电压。MCU 的许多输入都会预计出现过载情况；通常这些是由于错误条件造成的。限流电阻器的大小也应针对电阻器输入端的预期最大电压。

下图显示了一个常用的电路，它显示了一个接地的开关，带有一个连接到电池的上拉电阻。

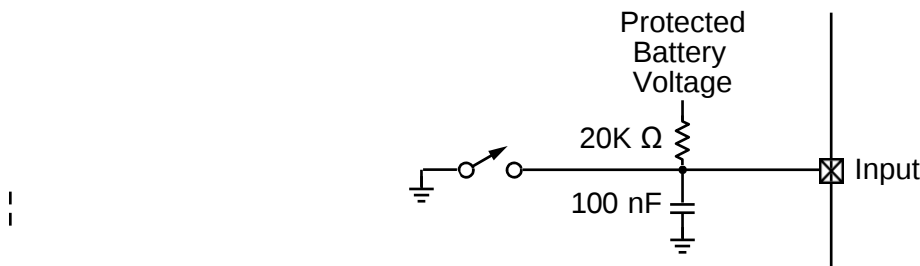


图3. 典型的最小外部限流保护网络

这些是针对典型最坏情况的计算；它们可能需要针对给定系统的确切预期条件进行修改。最坏的情况是电源关闭时。在操作期间，I/O 最坏情况电源电压应用于此计算。

可以简单地计算出限制注入电流的串联电阻值。对于 1mA 注入电流限制，20KΩ 电阻器可为典型的 20V 直流注入电流提供保护：

$$DC_{\max_unpowered} = 20 \text{ k}\Omega \times 1 \text{ mA} = 20 \text{ V}$$

$$DC_{\max_powered} = 20 \text{ k}\Omega \times 1 \text{ mA} + 5.25 = 25.25 \text{ V}$$

该电压对于连接到外部信号的 MCU 引脚来说足够了，这些信号被上拉（通过电阻器）到一个典型的 12V 电池。

除了直流电流之外，数据手册通常还包括在此直流电平下短时间内的最大累积规格，例如在设备的整个生命周期内长达60小时的5mA。（同样，最坏的情况显示为未通电状态。）

$$AC_{\max_current} = 20 \text{ k}\Omega \times 5 \text{ mA} = 100 \text{ V}$$

例如，典型情况需要在1mA（或2mA）规格范围内进行一些短时间偏移，无论是由于错误条件还是其他条件。如果在长达 5ms 的 1mA 注入电流限制上有 5ms 偏移事件，则在器件的整个生命周期内总共会发生 43.2K 事件。

$$AC_{\max_duration} = 60 \text{ hours} / 5 \text{ ms per event} = (60 \text{ hours} \times 60 \text{ minutes/hour} \times 60 \text{ seconds/minute}) / 5 \text{ ms} = 43,200,000 \text{ events}$$

如果更多的偏移或偏移电压与此典型情况不同，则可能需要增加或减少电阻值。

下图显示了与 MCU 一起使用的另一个常见电路，它包括一个用于偏置外部传感器的分压器电路。

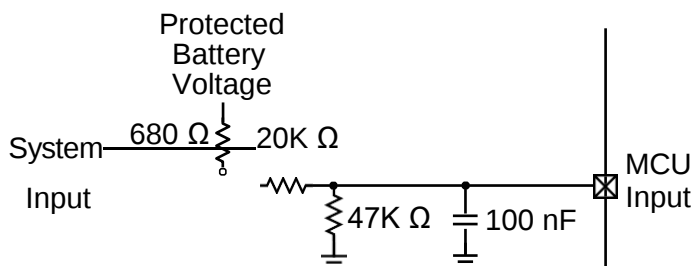


图4. 备用输入保护电路

3.3 由于过冲而注入

在某些情况下，特别是对于具有数据和地址总线的设备，所连接设备的阻抗差异会导致来自存储器（或来自另一个外部设备输入到 MCU 的输出信号）的电源电压过冲和下冲。最好尝试匹配驱动和阻抗，但大多数连接到 MCU 总线的存储设备没有驱动能力或阻抗控制。在带有总线的设备上，数据手册中的 I/O 引脚通常有一个允许的过冲规范，该规范受设备整个生命周期内的持续时间限制。在这种类型的过冲条件下，不需要电流限制，并且在设备的整个生命周期内的这段有限时间内是可以接受的。

例如，如果从外部存储器读取时输入引脚的最坏情况过冲（高于电源电压）为 2V，每次读取持续 1ns，那么寿命规格为60小时，这将等同于：

$AC_{\text{max_duration}} = 60 \text{ hours} / 1 \text{ ns}$ 每次读取，那么最大读取次数为 2.16×10^{14} 次内存读取。

4 模拟输入注入的注意事项

模拟输入引脚上的电流注入还有其他需要考量。注入电流会导致模数转换器（ADC）的精度下降；请参阅设备电气规范。此外，模拟输入上的电流注入可能会导致相邻模拟通道出现错误。器件数据手册中还显示了导致相邻通道中断的电流。

注意

通常，在四方扁平封装（QFP）封装中，相邻通道是封装的相邻引线上的通道。然而，在球栅阵列（BGA）封装上，由于封装基板上的信号连线，相邻通道可能不会在空间上靠近模拟输入球。相邻通道是管芯焊盘环上的相邻通道。

注意

相邻引脚可以包括数字引脚。对于模拟引脚，还必须考虑相邻数字信号上的注入电流，这可能会影响 ADC 的精度。

5 注入电流的数据手册规范

器件数据手册（电气规范）中有几条信息需要考虑，这些信息会影响器件的电流注入。此信息主要来自数据手册的两个部分。以下绝对最大额定值表中的重要规格：

- 每个电源的绝对最大电源电压

- 绝对最大注入电流
- 引脚上的最大输入电压

数据手册的另一个关键部分是推荐的操作规范，包括以下信息：

- 最大推荐电源电压
- 标称最大允许注入电流

一些器件在数据手册中与数字引脚分开的部分处理模拟输入上的注入电流，但其他器件将模拟引脚规范包含在与数字引脚相同的表中。

数据手册的绝对最大额定值表包括最大电源电压（浪涌）的最大杂散条件、引脚的最大输入电压以及允许注入的最大过载电流。

器件数据手册的推荐工作条件表包含有关器件标称工作的信息。这包括最小和最大工作电压、标称输入电压和标称电流注入电压。标称工作条件之外的条件被认为是不正确的条件。

6 示例数据手册摘录和测量数据

由于在不同的晶圆加工技术和汽车市场空间中有许多不同的设备类型，因此无法将它们全部汇总。但是，本应用笔记包含几个示例，以演示如何解释具有不同注入电流的内部钳位二极管的数据表规格和实际典型器件测量值。

这些示例显示了来自16位 S12 车身设备（MC9S12DP256）、130nm 32位动力总成设备（MPC5554）、两个 c90 32位动力总成设备（MPC5674F/MPC5676R）和一个c90 32位底盘设备（MPC5604B）。

注意

以下部分包含仅用于说明的数据表摘录。你可以查询nxp.com以获取本文档中引用的任何数据手册的最新版本。

6.1 S12 示例

S12系列微控制器是采用多种工艺技术设计的16位微控制器应用类型包括车身、底盘和低端动力系统。

6.1.1 S12 数据手册规范

下表显示了来自MC9S12DP256数据手册（版本02.15，日期为2005年1月11日，表A-1）和其他S12系列（包括S12XE系列）的绝对最大额定值和注入电流规格的摘录。

绝对最大额定值仅是压力额定值。不保证在这些最大值之下或之外的功能操作。超出这些限制的应力可能会影响可靠性或对设备造成永久性损坏。

该设备包含防止因高静电电压或电场损坏的电路；但是，建议采取正常的预防措施，以避免将高于最大额定电压的任何电压应用于该高阻抗电路。如果未使用的输入连接到适当的逻辑电压电平（例如 V_{SS5} 或 V_{DD5} ）。

表3. 选定的 MC9S12DP256 规格——绝对最大额定值

序号	额定项	符号	最小值	最大值	单位
1	I/O, 稳压器和模拟电源电压	V_{DD5}	-0.3	6.0	V
6	数字 I/O 输入电压	V_{IN}	-0.3	6.0	V
10	最大瞬时电流 所有数字引脚的单引脚限制 ¹	I_D	-25	25	mA

1. 所有数字 I/O 引脚都内部钳位到 V_{SSX} 和 V_{DDX} , V_{SSR} 和 V_{DDR} 或 V_{SSA} 和 V_{DDA} 。

下表描述了电气特性表格 A-4 中器件的工作电压。

表4. 选定的 MC9S12DP256 规格——工作条件

序号	额定项	符号	最小值	最大值	单位
1	I/O, 稳压器和模拟电源电压	V_{DD5}	4.5	5.25	V

下表显示了表格 A-6 I/O 特性的摘录，其中显示了推荐的输入电压和注入电流规格。

表5. 选定的 MC9S12DP256 规格——5 V I/O 特性

序号	额定项	符号	最小值	最大值	单位
1	输入高电压	V_{IH}	$0.65 \times V_{DD5}$	$V_{DD5} + 0.3$	V
2	输入低电压	V_{IL}	$V_{SS} - 0.3$	$0.35 \times V_{DD5}$	V
12	单引脚注入电流限制 ¹	I_{ICS}	-2.5	2.5	mA
	所有设备的注入电流设置。所有注入电流的和	I_{ICP}	-25	25	mA

1. 在瞬时和最大工作电流条件下，电源必须在工作 V_{DD5} 或 V_{DD} 范围内保持稳压。如果正注入电流 ($V_{in} > V_{DD5}$) 大于 I_{DD5} ，注入电流可能会流出 V_{DD5} ，并可能导致外部电源失控。确保外部 V_{DD5} 负载会分流大于最大注入电流的电流。当 MCU 不耗电时，这将是最大的风险；例如，如果不存在系统时钟，或者时钟频率非常低，这会降低整体功耗。

6.1.2 S12 实际典型注入电流曲线

下图显示了引脚受内部输入二极管限制的电压与注入引脚电流的关系。此图适用于典型的 MC9S12DP256 引脚。在这种情况下，显示的是端口 A0。

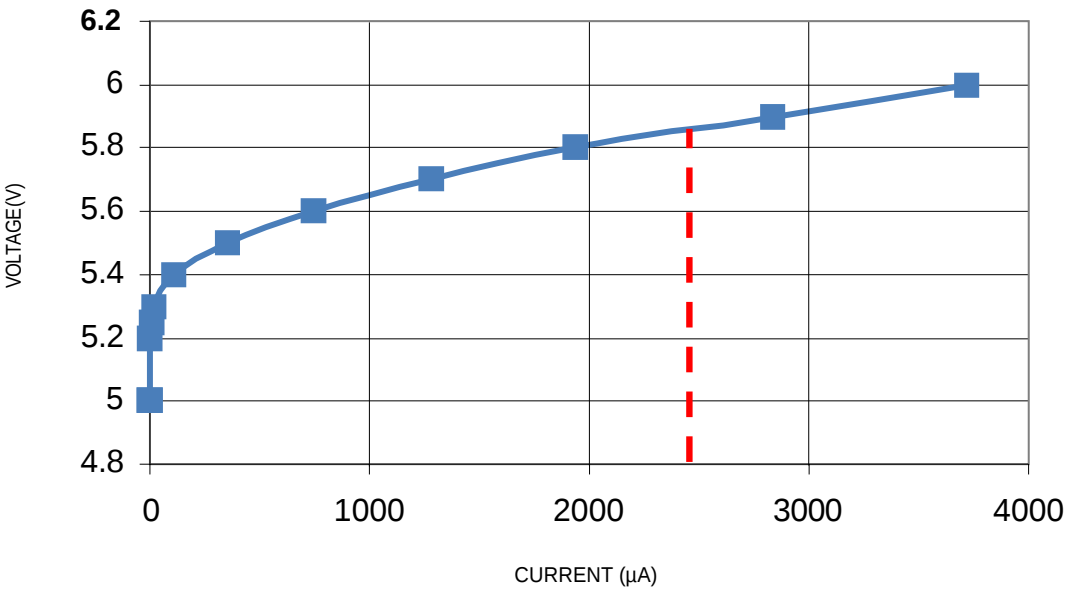


图5. MC9S12DP256 端口 A0 注入电流与电压，25°C，V_{DD} = 5 V

如图所示，2mA的注入电流使引脚上的电压保持在 6.0V 的绝对最大额定值以下。但是，如果在引脚上施加6V电压，则注入电流约为3.75mA。

6.2 MPC5554 示例

MPC5554是第一款采用 130nm CMOS 晶圆工艺制造的 e200z6 MCU。该设备已大批量生产数年。

6.2.1 MPC5554 数据手册规范

以下是2012年5月的 MPC5554 数据表修订版本 4的摘录。

表6. MPC5554 绝对最大额定值提取

规格	特点	符号	最小值	最大值	单位
7	3.3 V I/O 缓冲电压	V _{DD33}	−0.3	4.6	V
10	I/O 电源电压（快速 I/O 焊盘） ¹	V _{DDE}	−0.3	4.6	V
11	I/O 电源电压（慢速及中速 I/O 焊盘） ¹	V _{DDEH}	−0.3	6.5	V
12	DC 输入电压 ² V _{DDEH} 供电 I/O 焊盘 V _{DDE} 供电 I/O 焊盘	V _{IN}	−1.0 ³ −1.0 ³	6.5 ⁴ 4.6 ⁵	V
24	最大直流数字输入电流 ⁶ （每个引脚，适用于所有数字引脚） ²	I _{MAXD}	−2	2	mA
25	最大直流模拟输入电流 ⁷ （每个引脚，适用于所有数字引脚）	I _{MAXA}	−2	2	mA

表格在下一页继续.....

表6. MPC5554 绝对最大额定值提取（续）

规格	特点	符号	最小值	最大值	单位
26	最大工作温度范围 ⁸ - 管芯结温	T_J	T_L ⁹	150.0	°C

- 所有功能性非源 I/O 引脚都被钳位到 V_{SS} 和 V_{DDE} ，或 V_{DDEH} 。
- 在器件的整个生命周期内，允许在 60 小时的累积持续时间内出现高达 $\pm 2.0V$ 输入电压的交流信号过冲和下冲（注入电流不限于此持续时间）。
- 如果满足 2mA 的注入电流限制，则内部结构可保持高于 $-1.0V$ 的电压。在内部上电复位（POR）状态期间，保持 eTPUB[15] 和 SINB 上的负直流电压大于 $-0.6V$ 。
- 如果满足最大注入电流规范（所有引脚为 2mA）并且 V_{DDEH} 在工作电压规范范围内，则内部结构将保持输入电压低于由 V_{DDEH} 电源供电的所有焊盘上的最大电压。
- 如果满足最大注入电流规范（所有引脚为 2mA）并且 V_{DDE} 在工作电压规范范围内，则内部结构将保持输入电压低于由 V_{DDE} 电源供电的所有焊盘上的最大电压。
- 所有引脚（包括数字和模拟）的总注入电流不得超过 25mA。
- 所有模拟输入引脚的总注入电流不得超过 15mA。
- 不保证在这些规范限制下的使用寿命。
- $-40^{\circ}C$ 或 $-55^{\circ}C$ 取决于订购的部件号。

下表描述了直流电气规格表中 MPC5554 的工作电压。

表7. 选定的 MPC5554 规格——工作条件

序号	额定项	符号	最小值	最大值	单位
2	I/O 电源电压（快速 I/O 焊盘） ¹	V_{DDE}	1.62	3.6	V
3	I/O 电源电压（慢速及中速 I/O 焊盘）	V_{DDEH}	3.0	5.25	V
4	3.3V 输入/输出缓冲电压	V_{DD33}	3.0	3.6	V
6	模拟电源电压 ²	V_{DDA}	4.50	5.25	V
12	快速 I/O 输入高电压	V_{IH_F}	$0.65 \times V_{DDE}$	$V_{DDE} + 0.3$	V
13	快速 I/O 输入低电压	V_{IL_F}	$V_{SS} - 0.3$	$0.35 \times V_{DDE}$	V
14	中速及慢速 I/O 输入高电压	V_{IH_S}	$0.65 \times V_{DDEH}$	$V_{DDEH} + 0.3$	V
15	中速及慢速 I/O 输入低电压	V_{IL_S}	$V_{SS} - 0.3$	$0.35 \times V_{DDE}$	V
18	模拟输入电压	V_{INDC}	$V_{SSA} - 0.3$	$V_{DDA} + 0.3$	V
34	直流注入电流（每个引脚）	I_{IC}	-2.0	2.0	mA

- V_{DDE2} 及 V_{DDE3} 被限于 2.25–3.6V 之间，如果 $SIU_ECCR[EBTS] = 0$ ； V_{DDE2} 及 V_{DDE3} 范围在 1.62–3.6V 如果 $SIU_ECCR[EBTS] = 1$ 。
- $|V_{DDA0} - V_{DDA1}|$ 必须小于 $< 0.1V$

推荐的工作电气规格还包括有关注入电流的一些信息。这些是电流

表8. MPC5554 附加模拟规格

引脚类型	最大允许注入电流		最小值	最大值	单位
13 ¹	模拟引脚的破坏性输入电流 ^{2, 3, 4, 5}		-1	1	mA

表格在下一页继续.....

表8. MPC5554 附加模拟规格 (续)

引脚类型	最大允许注入电流		最小值	最大值	单位
12	由于注入电流导致的增量误差。所有通道均为 $10\text{ k}\Omega < R_s < 100\text{ k}\Omega$ 测试的通道为 $R_s = 10\text{ k}\Omega$ $I_{INJ} = I_{INJMAX}, I_{INJMIN}$	E_{INJ}	-4	4	Counts

- 1. eQADC 转换规范 (操作) 表
- 2. 在破坏性电流条件下, 受压通道具有以下值: 0x3FF模拟输入大于 V_{RH} , 0x000值小于 V_{RL} 。由于采样放大器的存在, 这里假设 V_{RH} 小于等于 V_{DDA} 以及 V_{RL} 大于等于 V_{SSA} 。其他通道不受非破坏性条件的影响。
- 3. 超过限制会导致压力和非压力通道上的转换错误。限制内的转变不会影响设备可靠性或造成永久性损坏。
- 4. 输入电流必须限制在指定值。要确定所需限流电阻的值, 需使用 $V_{POSCLAMP} = V_{DDA} + 0.5V$ 和 $V_{NEGCLAMP} = -0.3V$, 计算电阻值, 再使用较大的计算值。
- 5. 此条件适用于内部焊盘上的两个相邻焊盘。

6.2.2 MPC5554 实际典型注入电流测量

下图显示了低速高压数字引脚的被限制电压相对引脚注入电流的关系。下图中的数据是针对 MPC5554 EMIOS14_GPIO203 引脚的。

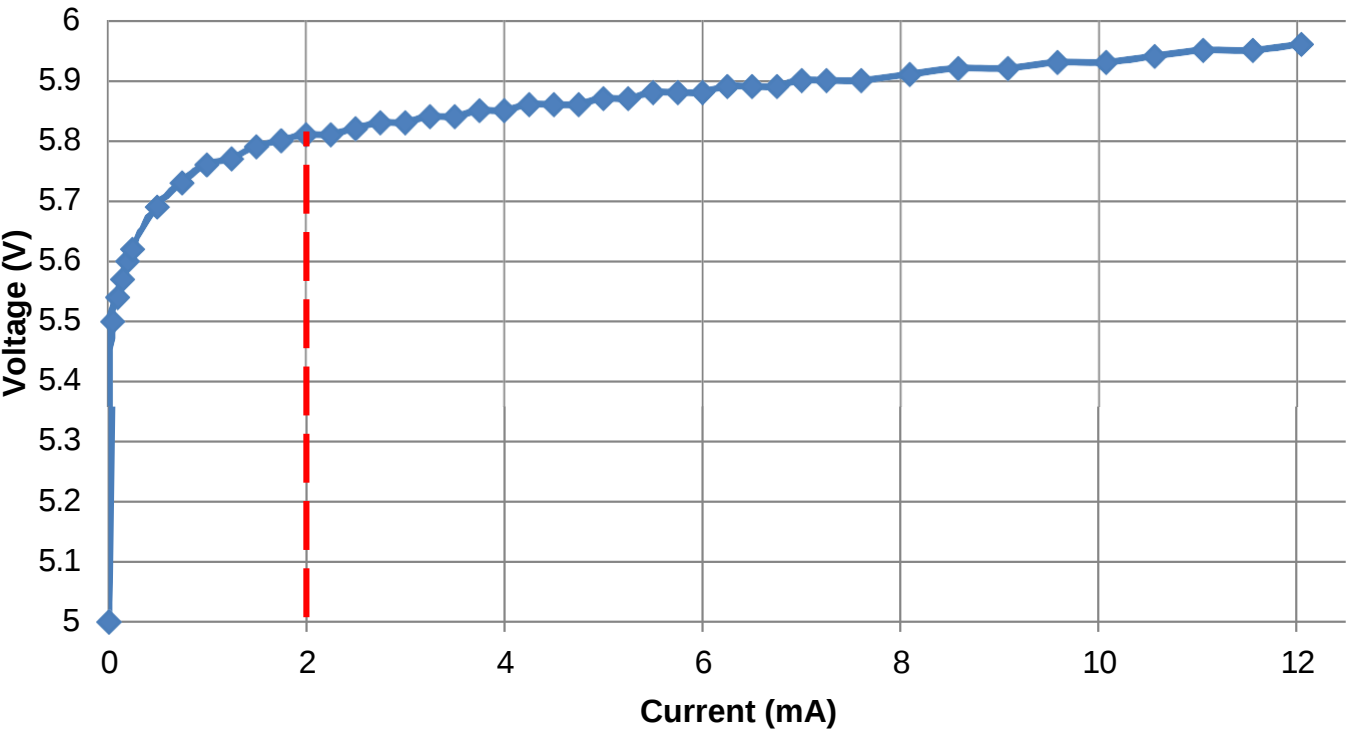


图6. MPC5554 引脚 GPIO[203] 数字引脚注入电流与电压, 25°C, $V_{DDEH} = 5V$

如图所示，当施加到引脚的电压比电源电压高约 0.5V 时，几乎没有电流注入。只要电源低于5.5V，2mA 的注入电流可使引脚上的电压低于 6.4V 的绝对最大额定值。建议使用 5.25 的最大电源电压。

6.3 MPC567xF/MPC5676R 示例

MPC567xF和MPC5676R是采用c90 CMOS晶圆工艺制造的高端处理器；两者都主要用于动力系统应用。MPC567xF是单核微控制器，MPC5676R是双核微控制器。两款设备均包含增强型定时处理单元（eTPU）。

6.3.1 MPC5674F 及 MPC5676R 数据手册规范

虽然MPC5674F和MPC5676R的数据手册看起来不同，但当分析脚注时，它们实际上是相同的。MPC5674F 规定数字 I/O 引脚上的最大电压为 6.4V，并附有一个脚注，将器件生命周期内的累计持续时间限制为10小时（6.4V），其余工作时间应为 5.5V 或更少。MPC5676R 规定在器件的整个工作寿命期间的最大电压为 5.5V，在器件的整个寿命期间高达 6.4V 的电压累积高达10小时。

以下是 MPC5674F 数据手册修订版本 9（日期为2012年11月）的摘录。这些规范可能已发生变化。

表9. MPC5674F 绝对最大额定值提取

序号	特点	符号	最小值	最大值	单位
4	I/O电源电压（I/O 缓冲器和预驱动器） {这是标称的 3.3V 电源}	V _{DD33}	-0.3	5.3 ^{1,2}	V
6	I/O电源电压（快速 I/O 焊盘） {这是标称的 3.3V 电源}	V _{DDE}	-0.3	5.3 ^{1,2}	V
7	I/O电源电压（中速 I/O 焊盘） {这是标称的 3.3V 或 5V 电源}	V _{DDEH}	-0.3	6.4 ³	V
15	绝对最大数字输入电流 ⁴ （每个引脚，适用于所有数字引脚）	I _{MAXD}	-3 ⁵	3 ⁵	mA
16	绝对最大输入电流，模拟引脚 ⁶ （每个引脚，适用于所有数字引脚）	I _{MAXA}	-3 ⁵	3 ⁵	mA
17	最大工作温度范围 ⁷ - 管芯结温	T _J	-40.0	150.0	°C

1. 高到低或低到高转换期间的电压过冲每次不得超过 10 秒。
2. 10 小时累计时间为 5.3V，剩余时间为 3.3V +10%。
3. 10 小时累计时间为 6.4V，剩余时间为 5.0V +10%。
4. 在最大工作电压下，所有引脚的总注入电流不得超过 25mA。
5. ±5mA 的注入电流允许模拟（ADC）焊盘和数字 5V 焊盘的持续时间有限。在该电流下的最大累积时间应为 60 小时。这包括在此压力条件下最大 5.25V 模拟或 VDDEH 电源的假设。
6. 所有模拟输入引脚的总注入电流不得超过 15mA。
7. 不保证在这些规格限制下的使用寿命。

下表描述了直流电气规格表中 MPC567xF 的工作电压。

表10. 选定的 MPC5674F 规格——工作条件

序号	额定项	符号	最小值	最大值	单位
2	I/O 电源电压 (快速 I/O 焊盘)	V _{DDE}	3.0	3.6 ^{1,2}	V
3	I/O 电源电压 (中速 I/O 焊盘)	V _{DDEH}	3.0	5.25 ³	V
5	模拟电源电压	V _{DDA}	4.75	5.25 ³	V
9	快速 I/O 输入高电压 启用滞后 关闭滞后	VIH_F	0.65 × V _{DDE} 0.55 × V _{DDE}	VDDE + 0.3	V
10	快速 I/O 输入低电压 启用滞后 禁用滞后	VIH_L	VSS – 0.3	0.35 × VDDE 0.40 × VDDE	V
11 ³	中速 I/O 输入高电 压启用滞后 禁用滞后	VIH_S	0.65 × V _{DDE} 0.55 × V _{DDE}	VDDE + 0.3	V
12	中速 I/O 输入低电压 启用滞后 禁用滞后	VIL_S	VSS – 0.3	0.35 × VDDE 0.40 × VDDE	V

- 1. 高到低或低到高转换期间的电压过冲每次不得超过 10 秒。
- 2. 5.3V 累计时间为 10 小时，3.3V 剩余时间 +10%。
- 3. 6.4V 累计时间为 10 小时，5.0V 剩余时间 +10%。

推荐的工作电气表格还包括有关注入电流的一些信息，如下表所示。

表11. MPC5674F 允许额外的注入/输入电流

引脚类型	最大允许注入电流	符号	最小值	最大值	单位
31 ¹	直流注入电流 (每个引脚)	I _{IC}	–1	1	mA
13 ²	模拟引脚的破坏性输入电流 ^{3, 4, 5, 6}	I _{INJ}	–3	3	mA
14 ²	注入电流导致的增量误差 ⁷	E _{INJ}	–4	4	Counts

- 1. 直流电器规格表
- 2. eQADC 转换规格 (操作) 表
- 3. 在破坏电流条件下，受压通道的转换值对大于 VRH 的模拟值输入为 0x3FF，对小于 VRL 的值为 0x000。其他通道不受非中断条件的限制。
- 4. 超出限制可能会导致压力通道和非压力通道的转换错误。限制内的转变不会影响设备可靠性或造成永久性损坏。
- 5. 输入电流必须限制在指定值。要确定所需限流电阻器的值，请使用VPOSCLAMP =VDDA + 0.5V 和VNEGCLAMP = –0.3V 计算电阻值，然后使用计算出的较大值。
- 6. 条件适用于注入极限处的两个相邻引脚。{注意，相邻通道指的是芯片焊盘位置，可能与 BGA 封装的焊球图不直接对应。}
- 7. 所有通道具有相同的 10 kΩ < Rs < 100 kΩ。被测通道具有 Rs = 10 kΩ，I_{INJ}=I_{INJMAX},I_{INJMIN}。

MPC5676R 数据手册摘录（修订版3，日期为2011年12月）如下表所示。

表12. MPC5676R 绝对最大额定值

序号	特点	符号	最小值	最大值	单位
4	I/O 电源电压 (I/O缓冲器和预驱动)	V_{DD33}	-0.3	4.5 ^{1,2}	V
5	模拟电源 (以VSSA ³ 为参考)	V_{DDA} ⁴	-0.3	5.5 ^{1,5}	V
6	I/O 电源电压 (快速 I/O 焊盘)	V_{DDE}	-0.3	4.5 ¹	V
7	I/O 电源电压 (中速 I/O 焊盘)	V_{DDEH}	-0.3	5.5 ⁵	V
15	绝对最大数字输入电流 ⁶ (每个引脚, 适用于所有数字引脚)	I_{MAXD}	-3 ⁷	3 ⁷	mA
16	绝对最大输入电流, 模拟引脚 ⁸ (每个引脚, 适用于所有数字引脚)	I_{MAXA}	-3 ⁷	3 ⁷	mA
17	最大工作温度范围 ⁹ - 管芯结温	T_J	-40.0	150.0	°C

1. 高到低或低到高转换期间的电压过冲每次不得超过 10 秒。
2. 5.3V 的累积时间为 10 小时, 3.3V 剩余时间 +10%。
3. MPC5676R 的引脚上有两个模拟接地引脚: VSSA_A 和 VSSA_B
4. MPC5676R 在引脚上有两个模拟电源引脚: VDDA_A 和 VDDA_B
5. 6.4V 的累积时间为 10 小时, 5.0V 剩余时间+10%。
6. 在最大工作电压下, 所有引脚的总注入电流不得超过 25mA。
7. ±5mA 的注入电流允许模拟 (ADC) 焊盘和数字 5V 焊盘的持续时间有限。在该电流下的最大累积时间应为 60 小时。这包括在此压力条件下最大 5.25V 模拟或 VDDEH 电源的假设。
8. 模拟输入引脚的总注入电流不得超过 15mA。
9. 不保证在这些规格限制下的使用寿命。

下表描述了直流电气规格表中 MPC5676R 的工作电压。

表13. 选定的 MPC5676R 规格——工作条件

序号	额定项	符号	最小值	最大值	单位
2	I/O 电源电压 (快速 I/O 焊盘)	V_{DDE}	3.0	3.6 ¹	V
3	I/O 电源电压 (中速 I/O 焊盘)	V_{DDEH}	3.0	5.25 ¹	V
5	模拟电源电压	V_{DDA}	4.75	5.25 ¹	V
9	快速 I/O 输入高电压 启用滞后 关闭滞后	VIH_F	$0.65 \times V_{DDE}$ $0.55 \times V_{DDE}$	$VDDE + 0.3$	V
10	快速 I/O 输入低电压 启用滞后 禁用滞后	VIH_L	$VSS - 0.3$	$0.35 \times V_{DDE}$ $0.40 \times V_{DDE}$	V
11	中速 I/O 输入高电压 启用滞后 禁用滞后	VIH_S	$0.65 \times V_{DDEH}$ $0.55 \times V_{DDEH}$	$VDDE + 0.3$	V

表格在下一页继续.....

表13. 选定的 MPC5676R 规格——工作条件（续）

序号	额定项	符号	最小值	最大值	单位
12	中速I/O 输入低电压 启用滞后 禁用滞后	VIL_S	VSS – 0.3	0.35 x V _{DDE} 0.40 x V _{DDE}	V

1. 高到低或低到高转换期间的电压过冲每个实例不得超过 10 秒。

表 14. MPC5676R 允许额外的注入/输入电流

引脚类型	最大允许注入电流	符号	最小值	最大值	单位
31 ¹	直流注入电流（每个引脚）	I _{IC}	–1	1	mA
13 ²	模拟引脚的破坏性输入电流 ^{3, 4, 5, 6}	I _{INJ}	–3	3	mA
14 ²	注入电流导致的增量误差 ⁷	E _{INJ}	–4	4	Counts

- 1. 直流电器规格表
- 2. eQADC 转换规格（操作）表
- 3. 在破坏性电流条件下，受压通道的转换值对于大于 V_{RH} 的模拟输入0x3FF，对小于 V_{RL} 的值为 0x000。其他通道不受影响。
- 4. 超出限制可能会导致压力通道和非压力通道的转换错误。限制内的转变不会影响设备可靠性或造成永久性损坏。
- 5. 输入电流必须限制在指定值。使用 V_{POSCLAMP} =V_{DDA} + 0.5V 和 V_{NEGCLAMP} = -0.3V，然后使用计算出的较大值。
- 6. 条件适用于注射极限处的两个相邻销。{注意，相邻通道指的是芯片焊盘位置，可能与 BGA 封装的焊球图不直接对应。}
- 7. 所有通道具有相同的 10 kΩ < R_s < 100 kΩ。被测通道具有 R_s = 10 kΩ，I_{INJ}=I_{INJMAX},I_{INJMIN}。

6.3.2 MPC567xF 及MPC5676R 实际典型注入电流测量

下图显示了中速高压数字引脚的引脚限制电压与注入引脚的电流的关系。下图中的数据针对 MPC567xFEMIOS9_ETPUA9_GPIO188 引脚。线条显示不同的电流注入限制（1mA 推荐操作条件、正常 3mA 绝对最大额定值和 5mA 绝对最大额定值持续有限的时间内）。

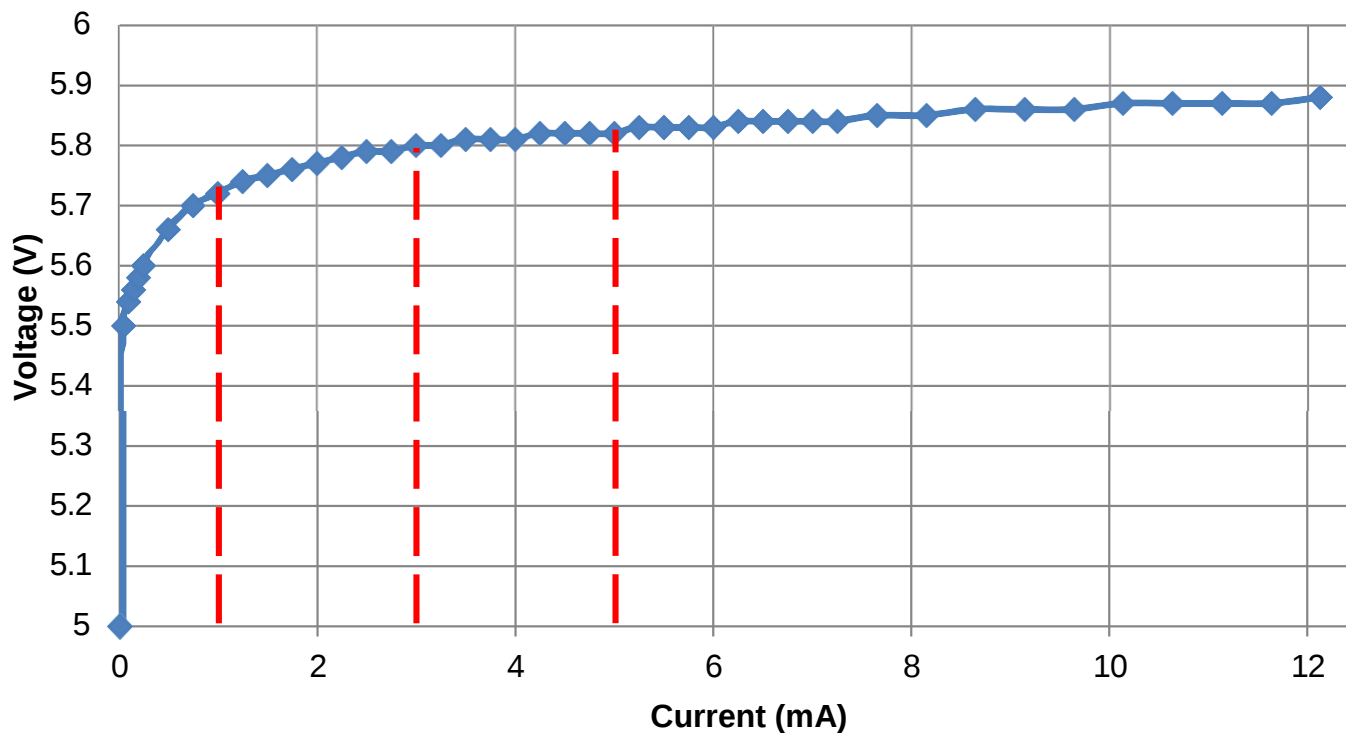


图7. MPC567xF 引脚 GPIO[188] 数字引脚注入电流与电压, 25°C, $V_{DDEH} = 5V$

下图展示了来自典型引脚 (ANA0) 的数据。

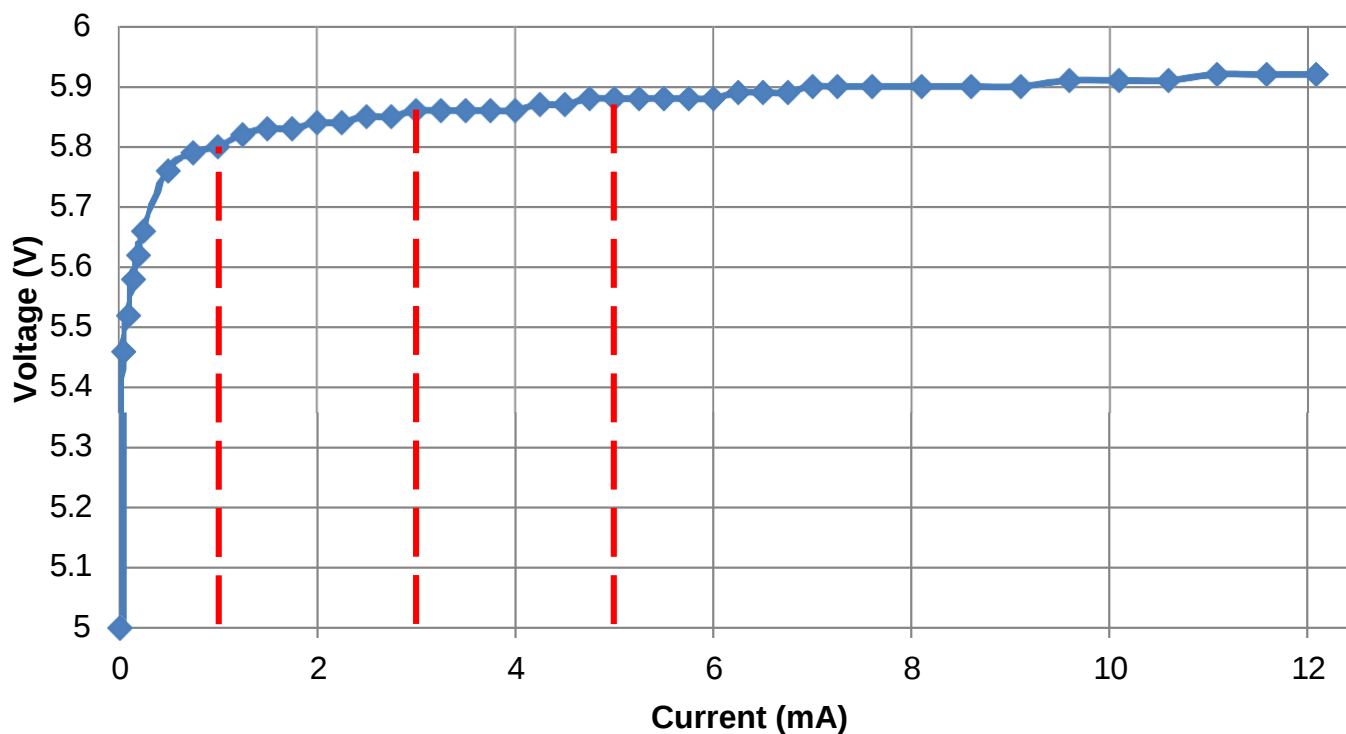


图8. MPC567xF 引脚 ANA0 模拟引脚注入电流与电压, 25°C, $V_{DDEH} = 5V$

如这两幅图所示，当施加到引脚的电压比电源电压高约 0.5V 时，几乎没有电流注入。只要电源低于 5.5V，2mA 的注入电流可使引脚上的电压低于 6.4V 的绝对最大额定值。建议使用 5.25 的最大电源电压。

6.4 MPC56xxB/C/D 示例

MPC56xxB/C/DC 微控制器主要面向车身/底盘市场，采用 c90CMOS 晶圆工艺制造。该系列的涵盖从低端 MPC5602D 到高端 MPC5646C。整个系列的 I/O 电气特性是相同的。

表15. MPC56xxB/C/D 系列器件

器件名称
MPC5601D
MPC5602D
MPC5603B
MPC5603C
MPC5604B
MPC5604C
MPC5605B
MPC5606B
MPC5607B
MPC5644B
MPC5644C
MPC5645B
MPC5646B
MPC5646C

6.4.1 MPC56xxB/C/D 数据手册规范

以下是MPC5604B 数据手册修订版本 11的摘录，刊于2012年12月。MPC56xxB/C/D 系列所有器件具有相同的电气特性。这些规范可能会发生变化。请查阅数据手册的最新版本，以确定这些规范是否有更新。

表16. MPC56046B 绝对最大额定值

参数	符号	条件	最小值	最大值	单位
VSS_HV 引脚上的数字地	V _{SS_HV}	—	0	0	V
VDD_HV 引脚相对地的电压 (V _{SS})	V _{DD}	—	−0.3	6.0	V
VSS_LV 引脚上相对地 (V _{SS_HV}) 的参考电压	V _{SS_LV}	—	V _{SS} − 0.1	V _{SS} + 0.1	V

表格在下一页继续.....

表16. MPC56046B 绝对最大额定值 (续)

参数	符号	条件	最小值	最大值	单位
VDD_BV 引脚上相对于地 (V _{SS}) 的电压 (稳压器电源)	V _{DD_BV}	—	-0.3	6.0	V
		相对于 V _{DD}	-0.3	V _{DD} + 0.3	
VSS_HV_ADC (ADC 参考) 引脚上相对于地 (VSS_HV) 的电压	V _{SS_ADC}	—	V _{SS} - 0.1	V _{SS} + 0.1	V
VDD_HV_ADC (ADC) 参考上相对于地 (V _{SS}) 的电压	V _{DD_ADC}	—	-0.3	6.0	V
		相对于 V _{DD}	V _{DD} - 0.3	V _{DD} + 0.3	V
任何 GPIO 引脚相对于地的电压	V _{IN}	—	V _{DD} - 0.3	6.0	V
		相对于 V _{DD}	—	V _{DD} + 0.3	
过载条件下任何引脚的注入输入电流	I _{INJPAD}	—	-10	10	mA
过载条件下所有注入输入电流的绝对和	I _{INJSUM}	—	-50	50	mA
电源段内所有静态 I/O 电流的总和 (VDD_HV_A 或 VDD_HV_B)	I _{AVGSEG}	V _{DD} = 5.0V ± 10%, PAD3V5V = 0	—	70	mA
		V _{DD} = 3.3V ± 10%, PAD3V5V = 1	—	64	
通过 VDD_BV 的低压静态电流吸收	I _{CORELV}	—	—	150	mA
存储温度	T STORAGE	—	-55 ¹	150	°C

1. 这是闪存的存储温度。

此外, 数据手册包括以下注释:

注意

超过推荐的绝对最大额定值压力可能会对设备造成永久性损坏。这仅是压力额定值, 不意味着设备在这些或其他任何条件下的功能操作高于本规范操作部分中表明的条件。长时间暴露在绝对最大额定条件下可能会影响设备的可靠性。在过载情况下 (V_{IN} > V_{DD} 或 V_{IN} < V_{SS}), 引脚上相对于地的电压 (V_{SS}) 不得超过推荐值。

表17. MPC5604B 推荐的 3.3V 工作条件 (摘录)

引脚类型	符号	条件	数值		单位
			最小值	最大值	
VSS_HV 引脚上的数地	V _{SS}	—	0	0	V
VDD_HV 引脚上相对地的电压 (VSS)	V _{DD}	—	3.0	3.6	V
任何 GPIO 引脚相对地 (VSS_HV) 的电压	V _{IN}	—	V _{SS} - 0.1	—	V
		相对于 V _{DD}	—	V _{DD} + 0.1	
过载条件下所有引脚输入的注入电流	I _{INJPAD}	—	-5	5	mA

表格在下一页继续.....

表17. MPC5604B 推荐的 3.3V 工作条件（摘录）（续）

引脚类型	符号	条件	数值		单位
			最小值	最大值	
过载条件下所有注入输入电流的绝对和	I_{INJSUM}	—	−50	50	

表18. MPC5604B 推荐的 5.0V 工作条件（摘录）

引脚类型	符号	条件	数值		单位
			最小值	最大值	
VSS_HV 引脚上的数字地	V_{SS}	—	0	0	V
VDD_HV 引脚相对地的参考电压 (V_{SS})	V_{DD}	—	4.5	5.5	V
GPIO 引脚相对的参考电压 (V_{SS_HV})	V_{IN}	—	$V_{SS_HV} - 0.1$	—	V
		相对于 V_{DD}	—	$V_{DD} + 0.1$	
过载条件下任何引脚的注入输入电流	I_{INJPAD}	—	−5	5	mA
过载条件下所有注入输入电流的绝对和	I_{INJSUM}	—	−50	50	

表 19. MPC5604B ADC 转换特性（摘录）

引脚类型	符号	条件		数值		单位
				最小值	最大值	
输入注入电流	I_{INJ}	ADC_0 上的 电流注入, 与 转换后的不同	$V_{DD} = 3.3V$ $\pm 10\%$	−5	5	mA
			$V_{DD} = 5.0V$ $\pm 10\%$	−5	5	
精确通道的所有未调整误差 ¹ , 仅指引脚	TUEp	无注入电流		−2	2	LSB
		有注入电流		−3	3	
扩展通道的所有未调整误差 ¹	TUEx	无注入电流		−3	3	LSB
		有注入电流		−4	4	

1. 所有未调整误差：未调整偏移和增益误差时发生的最大误差。该误差是偏移、增益和积分线性误差的组合。

6.4.2 MPC560xB 实际典型注入电流测量

下图显示了引脚被限电压相对引脚注入电流的关系。此图适用于 MPC5602B 端口A, 位 0 (PA0) 引脚。线条显示为 5mA 最大推荐工作注入电流限制和 10mA, 即 I/O 引脚的绝对最大额定值。

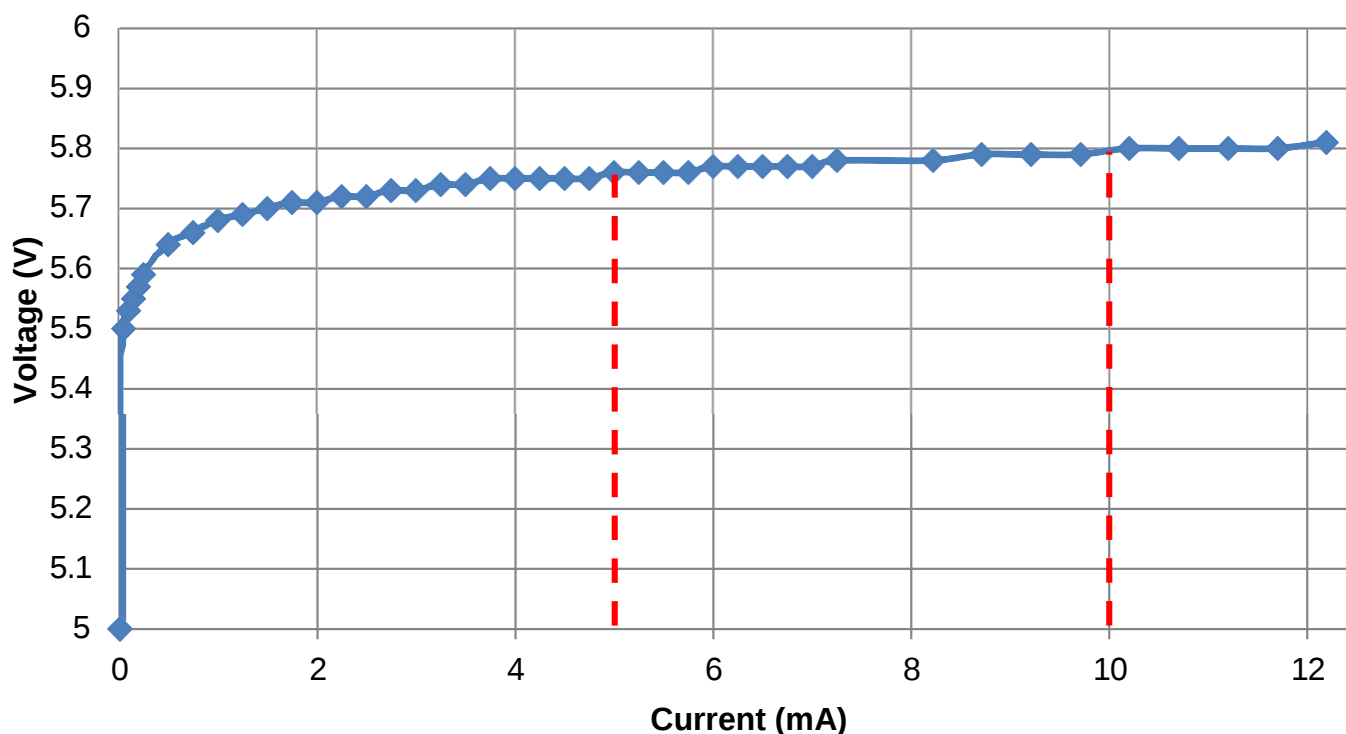


图9. MPC5646C 引脚 PA0 注入电流与电压, 25°C, $V_{DD} = 5V$

如图所示, 当施加的电压比电源电压高约 0.4V 时, 几乎没有电流注入。2.5mA 的注入电流使引脚上的电压低于 6.0V 的绝对最大额定值。建议使用 5.25 的最大电源电压。

7 总结

虽然有许多因素会影响对系统注入电流的处理, 但恩智浦在其汽车微控制器的设计中已经考虑了其中的许多问题。用户 I/O 引脚上包含内部钳位二极管, 可在典型注入电流条件下限制内部电路暴露于安全电压。典型的预期注入电流在器件数据手册的推荐工作条件中指出, 通常在 1 至 5mA 的范围内。大多数器件都包含额外的规范, 允许在 MCU 的整个生命周期内累积的短时间内超出推荐的注入电流规范。

对于最大推荐工作注入电流 (典型注入电流) 和杂散条件下的绝对最大额定注入电流, 您应该注意根据每个器件数据手册中的规范限制注入电流。遵守规范将确保系统的寿命能力。

附录 A 温度轮廓

不同类型的汽车应用需要不同的寿命温度曲线。某些类型的应用程序更严格, 而某些类型的应用程序则更少。这些取决于 MCU 模块在车辆内的位置。温度曲线的示例如下所示。

表A-1. 20年（175200小时）典型温度曲线

T _J (°C)	10%通电时间	保持激活状态的时间
	核心逻辑 (I/O、SRAM、高压晶体管)	Keep-Alive 逻辑 (SRAM)
150	1298	1298
135	5407	5407
125	5407	5407
105	5407	5407
40	0	157680
上电时间总计	17520	175200
Effective T _J Ea = 0.5eV	127°C	75°C
Effective T _J Ea = 1.0eV	130°C	100°C

MCU 专为预期的温度曲线而设计。设计的影响方面包括连接到 I/O 引脚的金属宽度和晶体管尺寸。

附录 B 修订记录

表B-1. 修订历史

修订版本	发布日期	变更
1	2013年6月	面向客户的首版发布。
2	2017年12月	更正了外部限制注入电流 (Externally limiting injection current) 的公式（把原来的“除以”修正为“乘以”）。
		在介绍部分澄清了未通电状态的意义。

How to Reach Us:**Home Page:**nxp.com**Web Support:**nxp.com/support

Information in this document is provided solely to enable system and software implementers to use NXP products. There are no express or implied copyright licenses granted hereunder to design or fabricate any integrated circuits based on the information in this document. NXP reserves the right to make changes without further notice to any products herein.

NXP makes no warranty, representation, or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does NXP assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters that may be provided in NXP data sheets and/or specifications can and do vary in different applications, and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "typicals," must be validated for each customer application by customer's technical experts. NXP does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. NXP sells products pursuant to standard terms and conditions of sale, which can be found at the following address: nxp.com/SalesTermsandConditions.

NXP, the NXP logo, NXP SECURE CONNECTIONS FOR A SMARTER WORLD, COOLFLUX, EMBRACE, GREENCHIP, HITAG, I2C BUS, ICODE, JCOP, LIFE VIBES, MIFARE, MIFARE CLASSIC, MIFARE DESFire, MIFARE PLUS, MIFARE FLEX, MANTIS, MIFARE ULTRALIGHT, MIFARE4MOBILE, MIGLO, NTAG, ROADLINK, SMARTLX, SMARTMX, STARPLUG, TOPFET, TRENCHMOS, UCODE, Freescale, the Freescale logo, Altivec, C-5, CodeTest, CodeWarrior, ColdFire, ColdFire+, C-Ware, the Energy Efficient Solutions logo, Kinetis, Layerscape, MagniV, mobileGT, PEG, PowerQUICC, Processor Expert, QorIQ, QorIQ Qonverge, Ready Play, SafeAssure, the SafeAssure logo, StarCore, Symphony, VortiQa, Vybrid, Airfast, BeeKit, BeeStack, CoreNet, Flexis, MXC, Platform in a Package, QUICC Engine, SMARTMOS, Tower, TurboLink, and UMEMS are trademarks of NXP B.V. All other product or service names are the property of their respective owners. ARM, AMBA, ARM Powered, Artisan, Cortex, Jazelle, Keil, SecurCore, Thumb, TrustZone, and μ Vision are registered trademarks of ARM Limited (or its subsidiaries) in the EU and/or elsewhere. ARM7, ARM9, ARM11, big.LITTLE, CoreLink, CoreSight, DesignStart, Mali, mbed, NEON, POP, Sensinode, Socrates, ULINK and Versatile are trademarks of ARM Limited (or its subsidiaries) in the EU and/or elsewhere. All rights reserved. Oracle and Java are registered trademarks of Oracle and/or its affiliates. The Power Architecture and Power.org word marks and the Power and Power.org logos and related marks are trademarks and service marks licensed by Power.org.

© 2017 NXP B.V.

Document Number AN4731
Revision 2, 12/2017

