

UCD91xxx 序列发生器和系统健康状况控制器 PMBus 命令参考



摘要

UCD91xxx 电源序列发生器和监控器支持多种命令，允许外部主机配置、控制和监控电压轨。序列发生器与主机之间使用 PMBus™ 命令协议通过 I²C 电气接口进行通信。

PMBus 规范概括性地介绍了该命令协议。本文档介绍了针对 UCD91xxx 电源序列发生器和监控器的实现详细信息。如果一个命令未在本文档中介绍，但受到 UCD91xxx 器件支持（请参阅表 21-1），则其功能与 PMBus 规范中的完全相同。在这种情况下，请参阅 PMBus 规范以了解更多详细信息。

有关完整的特性说明，请参阅器件特定数据表。

本文档引用参考了 *UCD Sequencer Studio*。提供了 TI UCD Sequencer Studio 以进行器件配置。这款图形用户界面 (GUI) 基于 Microsoft® Windows®，提供了一种用于配置、存储和监控视所有系统操作参数的直观界面。

注意：本文档不适用于 UCD90xxx 系列器件。

内容

1 电源时序	4
1.1 概述.....	4
1.2 电源轨导通和关断配置.....	4
1.3 电源轨电源正常.....	4
1.4 电源轨序列配置.....	5
1.5 电源轨状态.....	6
1.6 电源轨定序示例用例.....	6
2 GPIO	8
2.1 概述.....	8
2.2 命令控制型 GPO.....	8
2.3 逻辑 GPO.....	8
2.4 GPI.....	9
2.5 电源使能引脚.....	10
2.6 级联引脚.....	10
2.7 裕度调节引脚.....	10
3 GPI 状态机	11
3.1 概述.....	11
3.2 GPI 状态机配置.....	11
4 监控	13
5 电源轨特性曲线	14
6 裕度调节	15
6.1 概述.....	15
6.2 运行.....	15
6.3 裕度调节引脚的空闲行为.....	16
7 级联	17
7.1 概述.....	17
7.2 上电级联.....	17
7.3 上电和下电级联.....	17
7.4 故障级联.....	18

7.5 级联要求.....	18
8 故障处理	19
9 故障记录	20
10 内存	21
10.1 概述.....	21
10.2 闪存存储器.....	21
10.3 上电.....	21
10.4 程序生命周期.....	21
11 内部故障管理	22
12 状态监控	23
13 器件复位	24
14 ADC 基准	25
15 系统看门狗	26
16 系统复位	27
17 PMBus 规范	28
17.1 制造商特定状态 (STATUS_MFR_SPECIFIC).....	28
18 数据格式	29
18.1 输出电压参数的数据格式.....	29
18.2 其他参数的数据格式.....	29
18.3 区分线性数据格式.....	30
18.4 转换、量化和截断.....	30
18.5 8 位时间编码.....	30
18.6 16 位时间编码.....	30
19 存储器模型	31
20 警报响应地址支持	32
21 支持的 PMBus 命令	33
22 PMBus 内核命令的实现详细信息	40
22.1 (00h) PAGE.....	40
22.2 (01h) OPERATION.....	40
22.3 (0Eh) PASSKEY.....	40
22.4 (0Fh) ACCESS_CONTROL.....	41
22.5 (11h) STORE_DEFAULT_ALL.....	42
22.6 (12h) RESTORE_DEFAULT_ALL.....	43
22.7 (1Bh) SMBALERT_MASK.....	43
22.8 (20h) VOUT_MODE.....	43
22.9 (38h) IOUT_CAL_GAIN.....	44
22.10 (41h - 69h) xxx_FAULT_RESPONSE.....	44
22.11 (62h) TON_MAX_FAULT_LIMIT.....	44
22.12 (66h) TOFF_MAX_WARN_LIMIT.....	45
22.13 (80h) STATUS_MFR_SPECIFIC.....	45
22.14 (8Dh) READ_TEMPERATURE_1.....	45
22.15 (8Eh) READ_TEMPERATURE_2.....	45
22.16 (ADh) IC_DEVICE_ID.....	45
22.17 (AEh) IC_DEVICE_REV.....	45
23 输入和输出引脚配置	46
24 PWM 配置	49
25 用户数据命令的实现详细信息	50
25.1 (B5h) FIRST_BLACK_BOX_FAULT_INFO (USER_DATA_05).....	50
25.2 (B6h) LAST_BLACK_BOX_FAULT_INFO 命令格式 (USER_DATA_06).....	50
25.3 (B8h) RAIL_PROFILE (USER_DATA_08).....	51
25.4 (B9h) RAIL_STATE (USER_DATA_09).....	53
26 制造商特定命令的实现详细信息	54
26.1 制造商特定的命令声明.....	54
26.2 (D0h) FAULT_PIN_CONFIG (MFR_SPECIFIC_00).....	54
26.3 (D1h) VOUT_CAL_MONITOR (MFR_SPECIFIC_01).....	56
26.4 (D2h) SYSTEM_RESET_CONFIG (MFR_SPECIFIC_02).....	56
26.5 (D3h) SYSTEM_WATCHDOG_CONFIG (MFR_SPECIFIC_03).....	60
26.6 (D4h) SYSTEM_WATCHDOG_RESET (MFR_SPECIFIC_04).....	62
26.7 (D5h) MONITOR_CONFIG (MFR_SPECIFIC_05).....	62
26.8 (D6h) NUM_PAGES (MFR_SPECIFIC_06).....	63

26.9 (D7h) RUN_TIME_CLOCK (MFR_SPECIFIC_07).....	64
26.10 (D8h) RUN_TIME_CLOCK_TRIM (MFR_SPECIFIC_08).....	65
26.11 (DAh) USER_RAM_00 (MFR_SPECIFIC_10).....	65
26.12 (DBh) SOFT_RESET (MFR_SPECIFIC_11).....	65
26.13 (DCh) RESET_COUNT (MFR_SPECIFIC_12).....	66
26.14 (DDh) PIN_SELECTED_RAIL_STATES (MFR_SPECIFIC_13).....	66
26.15 (DEh) RESEQUENCE (MFR_SPECIFIC_14).....	69
26.16 (DFh) CONSTANTS (MFR_SPECIFIC_15).....	69
26.17 (E0h) PWM_SELECT (MFR_SPECIFIC_16).....	70
26.18 (E1h) PWM_CONFIG (MFR_SPECIFIC_17).....	70
26.19 (E2h) PARM_INFO (MFR_SPECIFIC_18).....	70
26.20 (E3h) PARM_VALUE (MFR_SPECIFIC_19).....	71
26.21 (E4h) TEMPERATURE_CAL_GAIN (MFR_SPECIFIC_20).....	71
26.22 (E5h) TEMPERATURE_CAL_OFFSET (MFR_SPECIFIC_21).....	71
26.23 (E6h) SET_BREAKPOINTS (MFR_SPECIFIC_22).....	71
26.24 (E7h) DEBUG_CONTINUE (MFR_SPECIFIC_23).....	72
26.25 (E9h) FAULT_RESPONSES (MFR_SPECIFIC_25).....	72
26.26 (EAh) LOGGED_FAULTS (MFR_SPECIFIC_26).....	74
26.27 (EBh) LOGGED_FAULT_DETAIL_INDEX (MFR_SPECIFIC_27).....	76
26.28 (ECh) LOGGED_FAULT_DETAIL (MFR_SPECIFIC_28).....	77
26.29 (EFh) LOG_FAULT_DETAIL_ENABLES (MFR_SPECIFIC_31).....	78
26.30 (F0h) EXECUTE_FLASH (MFR_SPECIFIC_32).....	79
26.31 (F1h) SECURITY (MFR_SPECIFIC_33).....	79
26.32 (F2h) SECURITY_BIT_MASK (MFR_SPECIFIC_34).....	79
26.33 (F3h) MFR_STATUS (MFR_SPECIFIC_35).....	79
26.34 (F4h) GPI_FAULT_RESPONSES (MFR_SPECIFIC_36).....	81
26.35 (F5h) MARGIN_CONFIG (MFR_SPECIFIC_37).....	83
26.36 (F6h) SEQ_CONFIG (MFR_SPECIFIC_38).....	83
26.37 (F7h) GPO_CONFIG_INDEX (MFR_SPECIFIC_39).....	87
26.38 (F8h) GPO_CONFIG (MFR_SPECIFIC_40).....	88
26.39 (F9h) GPI_CONFIG (MFR_SPECIFIC_41).....	97
26.40 (FAh) GPIO_SELECT (MFR_SPECIFIC_42).....	100
26.41 (FBh) GPIO_CONFIG (MFR_SPECIFIC_43).....	100
26.42 (FCh) MISC_CONFIG (MFR_SPECIFIC_44).....	102
26.43 (FDh) DEVICE_ID (MFR_SPECIFIC_45).....	103
27 范围检查和限制	105
28 术语表	110
29 修订历史记录	110

商标

PMBus™ is a trademark of SMIF, Inc.

Microsoft® and Windows® are registered trademarks of Microsoft Corporation.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 电源时序

1.1 概述

电源时序在任何设计中都是一个重要组成部分，在使用多个电源轨的复杂系统中尤其如此。高性能处理器件（如 FPGA、ASIC、PLD、DSP 和微控制器）需要多个电压轨来为内部电路（例如内核、存储器和 I/O）供电。这些类型的应用需要非常具体的电压轨上电和断电时序和监控，以实现可靠的运行、更高的效率和整体系统的良好运行。

1.2 电源轨导通和关断配置

通过将电源使能引脚设为高电平或低电平，UCD91xxx 器件可以控制多达 32 个电压轨的导通和关断定序。有多种启动导通或关断事件的方法。

- 在基于 PMBus 的设计中，系统 PMBus 控制器可以通过将 PMBus_CNTRL 引脚置为有效或者通过在 I2C 串行总线发送 OPERATION 命令来启动导通事件。
 - 也可以对 UCD91xxx 器件进行配置，使得必须将 PMBus_CNTRL 引脚置为有效，并且必须通过 I2C 发送 OPERATION 命令，才可以启动导通事件。
- 在基于引脚的设计中，PMBus_CNTRL 引脚也可用于执行导通和关断。
- 自动使能设置会忽略 OPERATION 命令和 PMBus_CNTRL 引脚。在每个电源轨都满足所有依赖条件和延时时间后，时序导通在上电时启动。

要配置电源轨的导通和关断事件，请使用以下 PMBus 命令：

- PAGE：此命令用于设置应用了配置的活动页面或电源轨。
- ON_OFF_CONFIG：此命令指定导通或关断事件是取决于 PMBus_CNTRL 引脚、OPERATION 命令、两者，还是不取决于此两者（自动使能）。
- OPERATION：如果导通和关断事件已配置为依赖于此命令，则此命令用于导通和关断电源轨。此命令还用于将电源轨的输出电压设置为裕度电压上限或下限。

1.3 电源轨电源正常

每个电源轨的电源正常状态由以下规则确定：

- 如果电源轨电压由 AMON（模拟监控）引脚监控，则电源正常状态由电源正常开启和电源正常关闭阈值决定，这些阈值通过 PMBus 配置。
 - 如果电源轨电压高于电源正常开启阈值，则电源轨被赋予电源正常状态。否则，如果电源轨电压低于电源正常关闭阈值，则电源轨被赋予电源不正常状态。
 - 如果电压既不高于电源正常开启阈值也不低于电源正常关闭阈值，则电源轨保持当前状态。
- 如果电源轨电压由 DMON（数字监控）引脚监控，则电源正常状态由输入逻辑电平决定。
 - 当输入为逻辑高电平（3.3V）时，电源轨被赋予电源正常状态。
 - 当输入为逻辑低电平时，电源轨被赋予电源不正常状态。
- 如果电源轨电压不由 AMON 或 DMON 引脚监控，则电源正常状态由电源轨的开启和关闭资格决定。
 - 当电源轨满足用户设置的所有开启条件（如 ON_OFF_CONFIG、其他电源轨和 GPIO 等其他项目的依赖条件和延迟）时，会立即获得电源正常状态。
 - 同样，当电源轨满足用户设置的所有关闭条件时，会立即获得电源不正常状态。
 - 无论是否为该电源轨分配了物理 EN（使能）引脚，此行为均一致。

当测得的电压超过电源正常开启限值（通过 PMBus 配置）时，电源轨开启或处于稳压状态。

- 即使电压低于电源正常阈值，电源轨仍保持稳压状态，直到其被命令关闭（请参阅[电源轨打开和关闭配置](#)）并且满足所有定序依赖条件和时序延迟。

1.4 电源轨序列配置

当电源轨接收到导通或关断事件时（请参阅[电源轨导通和关断配置](#)），将检查电源轨依赖条件。

每个电源轨都支持以下序列开启依赖选项：

- 要打开的 **OPERATION** 命令
- **PMBus_CNTRL** 引脚置为有效位
- 一个或一组父电源轨具有电源正常状态
- 一个或一组 **GPI**（通用输入）已置为有效
- 一个或一组 **LGPO**（逻辑通用输出）已达到逻辑状态 **TRUE**
- 上述选项的任意组合

每个电源轨都支持以下序列关闭依赖选项：

- 要关闭的 **OPERATION** 命令
- **PMBus_CNTRL** 引脚置为无效
- 一个或一组父电源轨具有电源不正常状态
- 一个或一组 **GPI**（通用输入）已置为无效
- 一个或一组 **LGPO**（逻辑通用输出）已达到逻辑状态 **FALSE**
- 响应电源轨上的欠压、过压或最大导通故障
- 当设置为故障电源轨的故障关断从电源轨时，对不同电源轨上的故障做出响应
 - 每个电源轨都可包含一个故障关断从电源轨功能。当电源轨因故障而关断时，相关的从电源轨也会关断。在关断过程中，器件会继续监控从电源轨的延迟和依赖条件。
 - 故障关断从电源轨无法级联。换句话说，如果充当从电源轨的电源轨关断，则相关的从电源轨不会关断。
- 上述选项的任意组合

当满足所有序列依赖性条件时，电源轨会等待一个可选延迟时间（导通延迟或关断延迟），该延迟时间可通过 **PMBus** 进行配置，然后再将电源轨使能引脚（**EN**）置为有效或无效。导通延迟和关断延迟的最大延迟时间均为 **3276ms**。

根据 **EN** 引脚监控电源轨电压时，可以设置更多配置选项：

- 在电源轨的 **EN** 引脚置为有效后，如果电源轨电压在最大导通时间内未上升到电源正常开启阈值以上，则会发生“最大导通时间”故障。
 - 最大导通时间的粒度为 **1ms**。**0ms** 的值意味着没有限制，并且器件可以尝试无限期地导通输出电压。
- 在电源轨的 **EN** 引脚置为无效后，如果电源轨电压未在最大关断时间内降至低于标称输出电压的 **12.5%**，则会发生“最大关断时间”警告。

每个电源轨还可以设置定序开启/关闭超时周期。当电源轨接收到导通或关断事件时，超时周期开始递增。当超时周期结束时，电源轨执行以下 3 种操作之一，包括：

- 无限期待
- 启用或禁用电源轨
- 重新定序（仅用于定序开启时）

若要配置和设置定序依赖条件和时序延迟，请使用以下 **PMBus** 命令：

- 时序延迟
 - **TON_DELAY**：此命令用于设置将电源轨 **EN** 引脚置为有效之前等待的延迟。当满足序列开启的依赖条件（如果有）时，延迟计数器开始递减。
 - **TON_MAX_FAULT_LIMIT**：此命令用于设置电源轨电压上升至高于电源正常开启阈值的时间上限。这更适用于模拟监控功能。值为 **0ms** 意味着器件可以尝试无限期地开启输出电压。
 - **TOFF_DELAY**：此命令设置在将电源轨 **EN** 引脚置为无效之前等待的延迟。当满足序列关闭的依赖条件（如果有）时，延迟计数器开始递减。
 - **TOFF_MAX_WARN_LIMIT**：此命令用于设置电源轨电压降至标称输出电压的 **12.5%** 以下的时间上限。这更适用于模拟监控功能。

- 定序依赖条件
 - **GPI_CONFIG**：此命令将 GPIO 引脚配置为 GPI。若要将 GPI 设置为定序依赖条件项，此命令必须在 **SEQ_CONFIG** 之前运行。
 - **SEQ_CONFIG**：此命令用于配置电源轨的定序依赖条件（其他电源轨、GPI、LGPO、故障从电源轨）。它还用于将 **EN** 引脚分配给电源轨、设置定序超时周期以及配置相应的定序超时操作。
 - **GPO_CONFIG_INDEX**：此命令用于选择将用于后续 **GPO_CONFIG** 命令的 **LGPO** 的索引。
 - **GPO_CONFIG**：此命令用于配置 **LGPO** 的功能，其中引脚的状态由一系列 **GPI** 和通过组合逻辑处理的状态决定。在大多数情况下，状态与页面（即电源正常）相关。

重新定序

重新定序是一系列操作，可关断电源轨和故障关断从电源轨，然后根据定序开启延迟时间和依赖条件重新启用电源轨。

重新定序事件可重复执行一次到大约四次或无限次。当为所有相关电源轨都提供非电源正常状态时，重新定序之间的时间周期开始递增。当该时间周期结束时，重新定序事件开始。选中“启用重新定序中止”后，如果任何相关电源轨触发“最大关断次数”警告，则重新定序事件会中止。但是，“最大关断次数警告”不会停止正在进行的重新定序事件。如果重新定序状态下的任何电源轨均由 **GPI** 故障响应引起，器件将暂停整个重新定序事件，直到通过物理方式清除 **GPI** 故障。

如果设置了相应的位，也可以配置为在执行重新定序时忽略电源轨的 **POWER_GOOD_OFF** 和 **TOFF_MAX_WARN** 状态。

- **RESEQUENCE** 命令可用于启动重新定序。

1.5 电源轨状态

在 **UCD91xxx** 器件的状态机中，跟踪每个电源轨的定序依赖和时序延迟。有关更多详情，请参阅 [RAIL_STATE](#)。

1.6 电源轨定序示例用例

本节概述了几个基本定序用例和要使用的 **PMBus** 命令。它们仅供参考。

- 具有以下配置的单电源轨：
 - 基于 **PMBus** 的设计，并且导通事件取决于 **PMBus_CNTRL** 引脚和 **OPERATION** 命令
 - **GPI** 上设置的序列开启和关闭依赖条件
 - 无定序超时。器件无限期地等待定序依赖条件得到满足。
 - 对于电源轨电压上升至高于电源正常开启阈值的时间以及电源轨电压下降至低于标称输出电压 **12.5%** 的时间，未设置限制
 - 为满足序列开启和关闭依赖条件的条件设置了导通和关断延迟，并且 **EN** 引脚分别置为有效位置为无效
 - 要使用的 **PMBus** 命令：
 - **PAGE**：此命令可设置应用以下 **PMBus** 命令的电源轨。对于 **UCD91xxx** 器件，此值范围为 **0** 至（最大电源轨数量 - **1**）。特殊值 **0xFF** 表示以下命令适用于所有页面/电源轨。
 - **ON_OFF_CONFIG**：请参阅 **PMBus 1.2** 规范或 **UCD91xxx PMBus 命令器参考指南**，了解如何对此命令进行编码。根据命令数据字节的编码方式、导通和关断事件可配置为依赖于 **OPERATION**、**PMBus_CNTRL**、两者或两者都不依赖。**PMBus_CNTRL** 引脚也可以设置为高电平有效（拉高以启动器件）或低电平有效极性（拉低以启动器件），并且 **PMBus_CNTRL** 置为无效也可以进行配置，使得电源轨立即关闭或者在编程设定的关断延迟后关闭（软关闭）。
 - **TON_DELAY/TOFF_DELAY**：根据 **PMBus** 规范，延迟时间采用特定的数据格式 **LINEAR11** 进行编码。**LINEAR11** 格式是一个两字节的值，包含一个 **11** 位二进制补码尾数和一个 **5** 位二进制补码指数。有关此数据格式的更多详细信息，请参阅 **UCD91xxx PMBus 命令器参考指南**。- 例如，设置延迟值 **100ms** 需要将值 **0xEB20** 作为数据的一部分发送。
 - **GPI_CONFIG**：将 GPIO 配置为 GPI。此命令必须在 **SEQ_CONFIG** 之前运行。
 - **SEQ_CONFIG**：将特定 **EN** 引脚与电源轨关联，并指示先前配置的 **GPI** 上有序列开启和关闭依赖条件。

- **OPERATION** : 根据 **ON_OFF_CONFIG** , 仅在发送 **OPERATION** 命令时才会发送导通事件, 并且 **PMBus_CNTRL** 引脚置为有效。要发送关断事件, 请发送 **OPERATION** 命令并将 **PMBus_CNTRL** 置为无效。
 - 注意: 在满足定序依赖条件之前, 电源轨不会开启。例如, 如果 **GPI** 未置为有效, 即使发送了 **OPERATION** 命令, 电源轨也会保持关闭状态, 并且 **PMBus_CNTRL** 置为有效。这同样适用于电源轨关闭。
- 多个电源轨, 其中一个电源轨在 **GPI** 上有序列开启/关闭依赖条件, 而另一个电源轨在第一个电源轨上有序列开启/关闭依赖条件。两者具有不同的导通和关断时序延迟。
 - 电源轨 X 的 **PMBus** 命令 :
 - **PAGE**
 - **ON_OFF_CONFIG**
 - **TON_DELAY/TOFF_DELAY**
 - **GPI_CONFIG**
 - **SEQ_CONFIG**
 - 电源轨 Y 的 **PMBus** 命令, 它取决于电源轨 X :
 - **PAGE** : 使用此命令可更改应用以下 **PMBus** 命令的电源轨。
 - **ON_OFF_CONFIG**
 - **TON_DELAY/TOFF_DELAY**
 - **SEQ_CONFIG** : 设置电源轨 X 上的序列开启和关闭依赖条件。
 - 要启动电源轨序列 :
 - **PAGE** : 将活动页面/电源轨更改为电源轨 X。
 - 发送导通事件: 根据电源轨 X 的配置, 这取决于发送 **OPERATION** 命令和将 **PMBus_CNTRL** 置为有效。
 - 当 **GPI** 置为有效时, 电源轨 X 开启。
 - 电源轨 Y 在接收到其导通事件 (基于 **ON_OFF_CONFIG**) 以及电源轨 X 开启时 (满足序列开启依赖条件) 开启。

2 GPIO

2.1 概述

UCD91xxx 具有可用作输入或输出的 GPIO 引脚。每个 GPIO 都有可配置的输出模式选项，包括开漏输出或推挽输出，输出可以主动驱动至 3.3V 或接地。有关 GPIO 引脚的可能用途列表以及每次使用时每种类型的最大数量，请参阅器件特定的引脚排列。

GPIO 引脚可在定序和警报处理中作为依赖条件。它们还可用于系统级功能，例如外部中断、电源正常信号、复位或多个器件级联。通过配置没有 MONx 引脚但 GPIO 设置为使能引脚的电源轨，可以对 GPIO 进行上电或下电定序。

可以使用 PMBus 将 GPIO 配置为支持不同的功能。受支持功能的列表如下：

- 命令控制的通用输出 (GPO)
- 逻辑控制的通用输出 (LGPO)
- 通用输入 (GPI)
- 电源轨使能 (ENx)
- 级联多个器件
- 裕度量调节输出 (MARx)

2.2 命令控制型 GPO

UCD91xxx 器件具有可配置为命令控制型 GPO 的 GPIO 引脚。这些 GPIO 可用于控制 LED、启用开关等等，并由以下 PMBus 命令控制：

- [GPIO_SELECT](#)
- [GPIO_CONFIG](#)

2.3 逻辑 GPO

逻辑 GPO 或 LGPO 是由内部布尔逻辑构建器控制的特殊 GPIO。

每个布尔逻辑构建器都有一个顶级逻辑门，可配置为与门、或门或非门（具有可选延迟时间）。

- 顶级逻辑门的输入是两个 AND 路径。
 - 每个 AND 路径都可以选择各种输入，包括 GPI 状态、LGPO 状态和电源轨状态。

每个 LGPO 还可以配置为简单的状态机。状态机模式允许更复杂的 LGPO 行为。

- 省略了顶层逻辑门，仅评估两条 AND 路径中的一条。状态机的结果是活动 AND 路径的结果。
- 如果评估结果为 TRUE，AND 路径 1 将保持活动状态，直到其评估结果变为 FALSE。
 - 当 AND 路径 1 的评估结果变为 FALSE 时，AND 路径 2 在下一个评估周期中变为活动状态。
 - AND 路径 2 保持活动状态，直到其评估结果变为 TRUE，然后 AND 路径 1 在下一个评估周期变为活动状态。
 - 当状态机的任何输入信号更改状态时，会触发评估周期。

一些 LGPO 在同一时钟沿同步，以便 LGPO 能够一起更改状态。有关哪些 LGPO 一起同步的详细信息，请参阅器件数据表。不同的已同步 LGPO 组会在彼此相差 1 到 3us 内更新其输出状态。

2.3.1 布尔逻辑构建器

每个 AND 路径可以利用各种输入，例如：

- GPI 状态
- LGPO 状态
- 电源轨状态和使能情况
 - 有关更多详细信息，请参阅 [GPO_CONFIG](#) 状态类型。
- 系统状态

- 一些与系统看门狗超时或单粒子翻转相关的系统状态可用作输入。

2.4 GPIO

UCD91xxx 器件可将多达 32 个 GPIO 引脚配置为 GPI。在 UCD91xxx 器件系列背景下，GPI 是具有特殊功能的输入引脚。

GPI 引脚的极性可配置为高电平有效或低电平有效。

2.4.1 GPI 特殊功能

每个 GPI 均可用作序列依赖条件来源（请参阅[电源轨序列配置部分](#)）。GPI 引脚也可用于级联功能（请参阅[级联部分](#)）。无论主要用途为何，最先定义的两个 GPI 都会分配给引脚选择的状态功能（请参阅[引脚选择电源轨状态配置部分](#)）。

可以为每个 GPI 引脚分配额外的特殊行为：

- **GPI Fault**：此引脚置为无效被视为故障，从而触发任何电压轨的关断操作（请参阅[GPI 故障响应](#)）。
- **Latched Statuses Clear Source**：此引脚可用于清除锁存类型状态（_LATCH）（请参阅[GPI 锁存状态清除](#)）。
- **Input Source for Margin Enable**：当此引脚置为有效后，所有启用了裕度的电源轨都会进入具有裕度的状态（低电平或高电平）。
 - 此特殊行为仅能分配给一个 GPI。
- **Input Source for Margin Low and Not-High**：当此引脚置为有效时，只要裕度启用同时有效，所有受控电源轨将设为裕度低。当此引脚置为无效时，电源轨将设为裕度高。
 - 此特殊行为仅能分配给一个 GPI。
- **Configured as Debug Pin**：此引脚置为有效时，器件被置于调试模式。有关更多详细信息，请参阅[GPI 调试引脚](#)。
 - 此特殊行为仅能分配给一个 GPI。
- **Configured as Fault Pin**：必须设置 GPI 故障使能功能才能启用此特性。设置后，如果故障总线上无故障，故障引脚作为数字输入引脚监控总线状态。当一个或多个 UCD91xxx 器件检测到电源轨故障时，相应的故障引脚将切换为主动驱动低电平状态，从而下拉故障总线电压，并将相应的故障通告所有其他 UCD91xxx 器件。这种行为实现了跨多个器件的协同操作。故障清除后，故障引脚的状态将恢复为输入引脚模式。有关更多详细信息，请参阅[级联](#)。
 - 此特殊行可以分配给最多四个 GPI。

2.4.2 GPI 故障响应

故障和相应的故障响应可以和各种阈值相关联，即当电源轨超过设定的电压、温度以及导通和关断时间阈值时，会发生故障。为了响应故障事件，UCD91xxx 会执行以下操作：

- 将 PMBus Alert 线路置为有效
- 将故障事件记录到非易失性存储器中并设置相关的状态寄存器位
- 执行用户可配置的故障响应

有关更多详细信息，请参阅[故障处理](#)。

在 UCD91xxx 上，可以配置 GPI，使得 GPI 置为无效被视为故障。GPI 的故障响应与电源轨故障响应非常相似，不同之处在于 GPI 故障响应不支持重试操作。要启用 GPI 故障响应，请使用以下 PMBus 命令：

- [GPI_CONFIG](#)
- [GPI_FAULT_RESPONSES](#)

备注

GPI 故障是边沿触发的，因此仅当引脚从置为有效状态变为置为无效状态时才会发生。

2.4.3 GPI 锁存状态清除

GPI 可配置为清除锁存状态引脚。锁存状态用于 LGPO 功能，这些状态只能通过以下方式清除：

- 使用 PMBus 命令 CLEAR_FAULTS
- 使用启用清除锁存状态功能的 GPI

要配置具有此功能的 GPI，请使用 [GPI_CONFIG](#) 命令。

2.4.4 GPI 调试引脚

GPI 可配置为充当调试引脚。当此引脚置为有效后，器件进入调试模式并具有以下行为：

- 器件不会向 PMBALERT 引脚发出警报。
- 不会执行任何故障响应。不会记录任何故障。
- 电源轨序列开启和关闭依赖条件会被忽略。
- 电源轨序列超时操作会被忽略。
 - 一旦序列开启或关闭超时到期，电源轨将相应地定序开启或关闭，而无视超时操作。如果时序开启或关闭超时值设置为 0，电源轨会立即按时序开启或关闭。
- GPI 引脚不会将故障总线拉至低电平。
- 受这些事件影响的 LGPO 将返回原始状态。
- 系统看门狗功能禁用。

该功能主要用于调试目的，不建议在最终生产阶段使用。

要配置具有此功能的 GPI 引脚，请使用 [GPI_CONFIG](#) 命令。

2.4.5 GPI 故障引脚

最多可将 4 个 GPI 配置为 UCD91xxx 上的故障引脚。故障引脚用于级联，使多个 UCD91xxx 器件做出同步故障响应。有关更多详细信息，请参阅[级联引脚](#)和[级联](#)。

要将 GPI 配置为故障引脚，请使用以下命令：

- [FAULT_PIN_CONFIG](#)
 - 选择哪个 GPI 应充当故障引脚，并选择哪些发生故障的电源轨/系统故障导致故障引脚置为无效
- [GPI_CONFIG](#)
 - 配置 GPI (引脚极性等) 并选择哪些 GPI 可以触发故障
- [GPI_FAULT_RESPONSE](#)
 - 配置故障启用型 GPI 的故障响应

2.5 电源使能引脚

电源轨使能引脚可配置为低电平有效或高电平有效极性。输出模式选项包括开漏输出或推挽输出，输出可以主动驱动至 3.3V 或接地。在复位期间，除了 MARx/GPIO 引脚外，GPIO 引脚均为高阻抗。

可将外部下拉电阻器或上拉电阻器连接到使能引脚，使得在复位期间电源保持关闭状态。有关支持的 ENx 引脚的最大数量，请参阅器件特定的引脚排列。

电源轨使能用于定序。有关更多详细信息，请参阅[电源定序](#)。

2.6 级联引脚

在高级应用中，系统需要的电源轨可能比单个 UCD91xxx 器件能够支持的电源轨多。因此，这些系统需要多个序列发生器器件。通过使用引脚，多个这类器件可以级联在一起，确保所有器件之间具有正确的定序。有关更多详细信息，请参阅[级联](#)。

2.7 裕度调节引脚

UCD91xxx 提供 PWM 输出引脚，用于通用 PWM 和闭环裕度调节输出。有关更多详细信息，请参阅[裕度调节](#)。

3 GPI 状态机

3.1 概述

UCD91xx 允许用户使用多达 3 个 GPI 引脚来控制多达八个电源轨状态。每个电源轨状态可以启用或禁用一些电源轨。此功能对于实现系统低功耗模式非常有用，例如符合高级配置与电源接口 (ACPI) 规范的模式。

GPI 状态机特性也称为引脚选择电源轨状态。

当 GPI 引脚上呈现新状态且电源轨收到开启命令时，该电源轨将根据时序开启依赖关系和延迟来尝试开启。如果电源轨收到关闭命令，可以将其配置为立即关断 (立即关闭) 或者尝试根据序列关闭依赖关系和延迟进行关断 (软关闭)。如果命令要求电源轨保持原有的开启或关闭状态，则不执行任何操作。

电源轨必须更改其状态时，器件会修改该特定电源轨的 OPERATION 命令设置。因此，为了使 GPI 电源轨状态功能有效，相关电源轨的 ON_OFF_CONFIG 设置必须设置为取决于 OPERATION 命令。

注意：引脚选择电源轨状态只是命令电源轨在进入状态时开启/关闭。如果电源轨具有定序开启和关闭依赖条件且未满足，电源轨将继续等待这些依赖条件，然后再实际上将 EN 引脚置为有效或置为无效 (如果选择了软关闭选项)。

3.2 GPI 状态机配置

任何支持 GPIO 的引脚均可分配给 GPI 1、2 或 3，但 UCD91xxx 上的前三个已配置的 GPI 保留用于 GPI 状态机或引脚选择电源轨状态特性。

如果需要的系统状态少于 8 个，则需要配置系统状态，以便 GPI 1 - 3 的更改不会导致意外系统状态执行。

备注

如果使用此功能，则较低的两个 GPI 不应用于这些电源轨的 SEQ_ON/SEQ_OFF 依赖条件，以防可能出现定序冲突。如果需要，请使用较高位 GPI 插槽作为定序依赖条件。

例如，如果只需要 2 个系统状态，则 GPI 1 足以处理覆盖这 2 个状态。但是，如果器件需要更多 GPI (用于裕度调节、调试模式等)，则必须配置无关的系统状态，以便 GPI 2 和 3 的更改不会触发状态更改。在这种情况下，UCD91xxx 应配置如下：

- 状态 (GPI 3、2、1 的值)
 - 000 - 已启用，电源轨针对系统状态 S0 配置 (GPI 1 置为无效)
 - 001 - 已启用，电源轨针对系统状态 S1 配置 (GPI 1 置为有效)
 - 010 = 启用。配置电源轨以匹配系统状态 S0
 - 011 = 启用。配置电源轨以匹配系统状态 S1
 - 100 = 启用。配置电源轨以匹配系统状态 S0
 - 101 = 启用。配置电源轨以匹配系统状态 S1
 - 110 = 启用。配置电源轨以匹配系统状态 S0
 - 111 = 启用。配置电源轨以匹配系统状态 S1
- 上述配置的结果本质上使得 GPI 2 和 3 在状态选择期间无关紧要。

同样，如果只需要 4 个系统状态，以下配置使得 GPI 3 与状态选择无关。

- States
 - 000 - 已启用，电源轨针对系统状态 S0 配置
 - 001 - 已启用，电源轨针对系统状态 S1 配置
 - 010 - 已启用，电源轨针对系统状态 S2 配置
 - 011 - 已启用，电源轨针对系统状态 S3 配置
 - 100 = 启用。配置电源轨以匹配系统状态 S0
 - 101 = 启用。配置电源轨以匹配系统状态 S1
 - 110 = 启用。配置电源轨以匹配系统状态 S2

- 111 = 启用。配置电源轨以匹配系统状态 S3

注意：在选择新的系统状态时，GPI 引脚上的状态更改必须在 1 μ s 内完成，否则可能会误选非预期的系统状态。

4 监控

UCD91xxx 可以监控模拟输入 (包括电压和温度) 和数字输入 (POWER_GOOD)。有关更多详细信息，请参阅 [MONITOR_CONFIG](#)。

5 电源轨特性曲线

在监控特定电源轨的电压时，当电压超过用户可配置的电压阈值时，会发生故障或警告事件。当检测到故障时，器件会根据用户定义的操作做出响应（故障响应）。

为了实现更快的响应和更灵活的配置，UCD91xxx 器件支持电源轨特性曲线功能，该功能仅适用于电源轨监控电压。

每个电源轨最多可以有四条特性曲线，应用可以使用两个分配的 GPI 在特性曲线之间切换。电源轨特性曲线包含九个阈值，可通过以下 PMBus 命令设置：

- VOUT_COMMAND
- VOUT_OV_FAULT_LIMIT
- VOUT_OV_WARNING_LIMIT
- VOUT_MARGIN_HIGH
- POWER_GOOD_ON
- VOUT_MARGIN_LOW
- POWER_GOOD_OFF
- VOUT_UV_WARNING_LIMIT
- VOUT_UV_FAULT_LIMIT

UCD91xxx 共提供 50 条在所有电源轨之间共享的独立特性曲线，其中每个电源轨可以有至少一条（但不能超过四条）特性曲线。电源轨之间的切换由两个 GPI 控制，并且当特性曲线发生切换时，可以使用可编程的闭锁期来屏蔽给定电源轨上所有与电压相关的故障。

以下 PMBus 命令用于电源轨特性曲线配置：

- [RAIL_PROFILE](#)
- [GPI_FAULT_RESPONSE](#)
 - 用于配置时，用于切换的 GPI 和切换闭锁期

6 裕度调节

6.1 概述

UCD91x 器件可为多达 32 个电压轨实现可选的闭环裕度调节。在四角测试期间，系统在最小和最大预期环境温度下运行，且每路电源均被设置为预期输出电压的最小值和最大值（这一过程通常称为裕度调节）。可以使用 OPERATION 命令通过 PMBus 接口，也可以通过使用 GPI_CONFIG 将两个 GPI 引脚配置为 MARGIN-EN 和 MARGIN-LOW_nHIGH 输入，激活裕度调节并将裕度调节从低电平切换到高电平。

MARGIN_CONFIG 命令允许设置多个裕度调节选项，包括进行裕度调节时忽略故障、以及不进行裕度调节时使用闭环 PWM 反馈修整电源轨输出电压。为了适应正反馈和负反馈关系，该命令还允许用户反转 PWM 占空比之间的关系。给定页面的特定 PWM 引脚及其在裕度调节未激活时的行为，也可以使用此命令来配置。

UCD91x 器件在进行裕度调节时还支持 PWM 占空比，以便在标称占空比模式下运行，在该模式下，PWM 占空比将始终从 PWM_CONFIG 命令中设置的标称占空比开始，以实现给定 PWM 输出。在启用了标称占空比模式的电源轨上停止或禁用裕度调节时，PWM 还会在完全停止之前恢复为 PWM_CONFIG 命令占空比。当不处于标称占空比模式、进行裕度调节和有源修整时，PWM 占空比将从 0% 开始并缓慢斜升而且立即禁用。由于裕度调节的启用/禁用，使用标称占空比模式有助于防止电源输出上出现干扰。

如果设置为在进行裕度调节时忽略故障，则在裕度调节状态激活时，不会触发或处理过压或欠压故障。

OPERATION 命令和 MARGIN_CONFIG 命令均可用于指示进行裕度调节时 UCD91xx 故障状态的更新行为。最近写入的命令将确定是否忽略故障。

6.2 运行

下图显示了单裕度调节电路的方框图。外部 R-C 网络将 PWM 脉冲转换为直流裕度电压。该裕度电压通过电阻器连接到电源的反馈节点。因此，反馈节点电压会被裕度电压略微上拉或下拉，从而导致电源轨的输出电压发生变化。UCD91x 器件会监控电源轨的输出电压。该器件会相应地调节裕度 PWM 的占空比，从而使电源轨输出电压稳定在用户定义的 VOUT_MARGIN_HIGH 或 VOUT_MARGIN_LOW 电压。实际上，UCD91x 器件的裕度控制环路会覆盖受控电源的直流设定值。

单裕度调节电路方框图

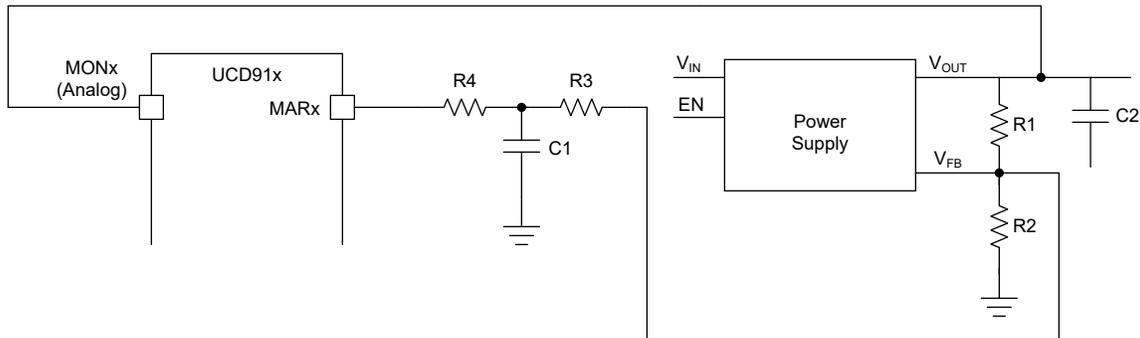


图 6-1. 裕度调节电路

裕度控制环路应尽可能慢，以免最大限度地减少对电源控制环路的干扰并降低引入不稳定的可能性。因此，对 PWM 占空比的调整仅以增量方式完成。UCD91x 的前 8 个 MARx 引脚使用 80MHz PWM 时钟生成其输出，后 8 个 MARx 引脚使用 40MHz 振荡器作为 PWM 时钟。量化步长的有效数量由以下关系给出：

$$n_{DutyCycle} = \frac{F_{CLK}}{F_{PWM}} \quad (1)$$

其中：

- N 是可用的占空比量化步长数量
- FCLK 是 PWM 时钟频率
- FPWM 是频率

裕度量调节时输出电压的上限和下限由滤波电阻器 (R4) 和隔离电阻器 (R3) 的大小决定。这些值与可用占空比步长数量的组合决定了输出电压中可能的最小步长。有关更多信息，请参阅[电压裕度调节设计指南](#)。

6.3 裕度调节引脚的空闲行为

在不进行裕度调节时，裕度调节引脚或 MARx 引脚可以配置为在以下三种模式之一运行：

- 三态
- 有源微调
- 固定占空比

三态模式将 Margin 引脚设置为高阻抗状态。有源微调模式会持续微调直流输出电压，以尝试将其优化为 VOUT_COMMAND 设置电压，而固定占空比模式可提供用户定义的固定 PWM 占空比输出。固定占空比模式的 PWM 占空比设置可以通过 PWM_CONFIG 命令进行配置。

7 级联

7.1 概述

在高级应用中，系统需要的电源轨可能比单个 UCD91xxx 器件能够支持的电源轨多。因此，这些系统需要多个序列发生器器件。

根据应用的需求，有不同类型的级联方式。

- 上电定序
- 上电和下电定序
- 协调故障响应

7.2 上电级联

对于仅关注上电定序的系统，通用方法是：

1. 配置 LGPO 以输出器件的 POWER_GOOD。
2. 将 LGPO POWER_GOOD 信号连接到另一个器件。
 - a. 这样，器件的电源轨可以依赖于链中前一个器件的电源正常输出，并在多个器件之间强制建立控制器 - 目标关系。
3. 或者，将最后一个器件的 LGPO POWER_GOOD 信号连接回第一个器件的 MONx 或 GPIx 引脚。

可通过两种不同方法将器件的 POWER_GOOD 信号连接到另一个器件。

1. 将 LGPO POWER_GOOD 信号连接到另一个器件的 PMBUS_CNTRL 引脚。
2. 将 LGPO POWER_GOOD 信号连接到另一个器件的 MONx 或 GPIx 引脚。

启动时，一旦控制器完成其启动序列，并且控制器的所有电源轨都达到稳压电压，目标器件就可以启动自己的启动序列。

在关断期间，只要控制器开始序列关闭，控制器的 POWER_GOOD 信号将置为无效，这会启动目标器件的关断。

- 由于 POWER_GOOD 信号取决于**所有**配置的电源轨达到稳压电压，因此控制器的一个或多个电源轨关闭可以启动目标器件关断。
- 控制器关断可以有意启动，也可由故障条件启动。
- 如果目标器件上发生故障条件，目标器件的电源轨将关闭（如果启用了关闭故障响应）并且目标器件的 POWER_GOOD 信号也将置为无效。
- 如果链中的最后一个器件出现故障条件则最后一个器件会将其 POWER_GOOD 信号置为无效。链中的第一个器件（控制器）将通过两种方式之一进行处理，具体取决于 POWER_GOOD 信号是连接到 MON 还是 GPI 引脚。
 - 如果连接到 MON 引脚，控制器会将置为无效视为 UV 故障。
 - 如果连接到 GPI 引脚，控制器会将置为无效位视为 GPI 故障。如果 MON 引脚不足，则可以使用 GPI。

7.3 上电和下电级联

如果需要断电定序，则需要使用另一个 LGPO。该新的 LGPO 应配置为当器件控制的所有电源轨都低于 POWER_GOOD_OFF 阈值时输出 POWER_GOOD_OFF。这表明电源轨正确关断。

上游 UCD 可以通过 GPI 引脚接受此信号并用作其定序关闭依赖条件的一部分。

当控制器将其 POWER_EN 引脚置为无效以关断整个系统时，链中最后一个 UCD 控制的电源轨将首先关闭。然后，第一个 UCD 器件（控制器）控制的所有电源轨将在所有目标器件的电源轨关闭后关闭。

7.4 故障级联

最多可将四个 GPI 配置为故障引脚，其中每个故障引脚都连接到故障总线。每条故障总线由 10k 电阻器上拉至 3.3V，并且连接在同一条故障总线上的所有 UCD91xxx 器件都能同步获悉相同的故障状况。

如果故障总线上没有发生任何故障，故障引脚将充当数字输入并监听总线。当一个或多个 UCD91xxx 器件检测到故障时，相应的故障引脚会下拉故障总线，借此通知所有其他器件发生了故障。可以执行协调的故障响应。清除故障后，故障引脚恢复为数字输入引脚。

7.5 级联要求

实现级联需要以下特性：

- LGPO
 - 为了实现上电级联，必须将 LGPO 配置为输出 POWER_GOOD。
 - 为了实现上电和下电级联，必须将另一个 LGPO 配置为输出 POWER_GOOD_OFF。
- 定序开启和关闭依赖
- UV 故障响应
 - 为了实现电源级联，当目标器件的 POWER_GOOD 输出通过 MON 引脚反馈时。
- GPI 故障响应
 - 为了实现电源级联，当 POWER_GOOD 和/或 POWER_GOOD_OFF 信号通过 GPI 反馈时。
- 故障引脚配置
 - 为了实现故障级联。
- SYNC_CLK
 - 为了实现故障级联。

8 故障处理

在前面的章节中，配置了各种故障和警告通知阈值，以监控电压和温度、导通时间和关断时间。当达到故障阈值时，会发生故障事件。器件执行以下三个操作来响应故障事件。

- 将 **PMBus ALERT** 线路置为有效
- 将故障事件记录到非易失性存储器（数据闪存）中，设置状态寄存器位
- 执行用户定义的故障响应

可以使用 **FAULT_RESPONSES** 配置故障响应。

可以针对每种类型的故障启用或禁用可编程干扰滤波器。当干扰滤波器时间结束后故障仍然存在时，器件会执行以下三种可选操作：

- 记录故障，无需采取进一步措施。
- 记录故障并立即关闭电源轨。
- 记录故障并在关断延迟后关闭电源轨。

关闭电源轨后，器件会执行以下三种可选操作之一：

- 在收到新的导通命令之前，请勿重新启动电源轨。
- 重新启动电源轨。如果重新启动不成功，最多重试用户定义的次数（最多 14 次），然后保持关闭状态，直到故障清除。
- 重新启动电源轨。如果重新启动失败，则重试次数不受限制，除非导通/关断配置中定义的信号命令关闭电源轨。电源轨用完重新启动尝试次数后，可以启动重新定序（请参阅“电源轨重新定序”部分）。

当电源轨使能关闭以重新启动时，器件将不会等待序列关闭依赖条件。如果电源轨因故障已进行重试，并且如果新故障发生在同一电源轨中，则器件行为始终是保守的，即使用“现有故障的重试计数”和“新故障的配置重试计数”之间的最小计数。

有关重新定序的更多详细信息，请参阅[电源定序](#)。

电压、电流和温度监控基于 **ADC(AMON)** 和 **DMON** 的结果。将 **ADC** 结果与编程设定的阈值进行比较。响应单个事件的时间取决于事件在 **ADC** 转换周期和配置的故障响应（干扰滤波器、延时时间等）内发生的时间。

如果需要，**GPI** 引脚也可以触发故障。**GPI** 故障响应选项与本部分前面讨论的故障响应选项相同，但有一个例外：**GPI** 故障响应选项不支持重试操作。请参阅 **GPI_FAULT_RESPONSES**。

用于配置故障响应的命令包括：

- **FAULT_RESPONSES** - 此分页命令可配置对每个故障条件的响应
- **GPI_FAULT_RESPONSES** - 可配置对 **GPI** 故障的响应
- **MISC_CONFIG** - 配置与重新定序相关的参数
- **SMBALERT_MASK** - 用于屏蔽故障，阻止其将 **PMBALERT** 线路置为有效
- **CLEAR_FAULTS** - 清除故障状态并将 **PMBALERT** 线路置为无效

9 故障记录

器件提供故障日志和器件复位计数器读数。发生故障时，数据将立即记录到闪存中。

故障信息存储在内存中，并可通过 **PMBus** 进行访问。每个记录的故障均包含以下信息：

- 电源轨编号
- 故障类型
- 自上次器件复位以来的故障发生时间
- 最后测量的电源轨电压

器件复位的总次数也存储在内存中。该值可以使用 **PMBus** 进行复位。

使用的命令包括：

- **LOGGED_FAULTS** - 返回闪存中记录的故障信息
- **LOGGED_FAULT_DETAIL_INDEX** - 返回闪存中的故障条目编号
- **LOGGED_FAULT_DETAIL** - 返回特定页面中给定故障的详细信息
- **LOG_FAULT_DETAIL_ENABLES** - 用于针对特定故障类型和页面，启用/禁用闪存的故障记录
- **MISC_CONFIG** - 为故障日志配置 **FIFO** 模式

10 内存

10.1 概述

根据 PMBus 要求，UCD91xxx 必须遵循特定的存储器存储和加载方案。

PMBus 要求如下：

- PMBus 器件必须能够在不进行总线通信的情况下启动。
- PMBus 器件可以在有或没有电源系统管理器或控制器的情况下使用。
- PMBus 器件应支持“设置后忽略”方案，即在制造时可以对其进行一次编程并且运行时永远无需进行总线通信。
- 为了满足上述要求，默认 PMBus 变量应从非易失性存储器加载或通过硬件引脚编程（如果有）加载。有关存储器加载优先级的更多详细信息，请参阅[存储器模型](#)。

以下各节将讨论 UCD91xxx 的存储器组织结构以及器件在不同运行阶段如何与存储器交互。

10.2 闪存存储器

UCD91xxx 的闪存存储器包含以下部分：编程闪存，用于存储器件固件，和数据闪存，用于存储用户配置数据。

程序闪存存在德州仪器 (TI) 制造过程中写入。其中包含器件固件，固件让 UCD91xxx 器件成为数字电源序列发生器。

数据闪存保存非易失性器件配置和其他运行数据。UCD91xxx 器件还会将有关故障的信息记录到数据闪存中。

UCD91xxx 将固件、配置设置和故障日志信息存储在闪存中。配置数据设置将在内存中具有主副本和备份副本。每个分区段都有自己的唯一循环冗余校验 (CRC)。

10.3 上电

在器件上电时，器件会对以下各项执行验证：

- 序列发生器固件
- PMBus 配置数据

有关更多详细信息，请参阅[器件复位](#)和[内部故障管理](#)。

10.4 程序生命周期

当主机（或控制器）向目标器件写入 PMBus 配置数据时，不会直接写入目标器件的闪存。然而，主机写入目标器件的易失性存储器 (RAM)。目标器件接受这些传入命令，将它们映射到 RAM 中的某个区域，并可能会将配置数据转换为器件特定的内部格式。

由于 PMBus 命令写入 RAM，工程师可以安全地测试更改，如果出现错误，他们可以通过发出器件复位命令来恢复以前的配置。当工程师确定配置有效时，可以通过发出 STORE_DEFAULT_ALL PMBus 命令将配置提交到非易失性闪存，该命令将部分 RAM 复制到闪存。

11 内部故障管理

器件在每次上电时均使用校验和算法验证固件。如果校验和不匹配，器件将复位。如果器件持续复位，SYNC_CLK 引脚会输出约 250ms 宽度的重复脉冲，该现象可以从外部观察到。

该器件在上电时会执行配置数据的校验和验证。如果校验和不匹配，器件将丢弃所有配置数据。PMBALERT 引脚置为有效，且状态寄存器中的相应标志位置位。

上电时还会对闪存中的故障日志执行校验和验证。每个日志条目都包含一个校验和。器件会忽略损坏的日志条目。

12 状态监控

器件为每个电源轨都设有状态寄存器。故障和警告信息记录在闪存中，以协助进行系统故障排除。状态寄存器和故障日志可以通过 TI Sequencer Studio GUI 以及 PMBus 接口进行访问。

有关每个状态寄存器和支持的 PMBus 命令的详细说明，请参阅 [MFR_STATUS](#) 和 PMBus 1.2 规范。

- STATUS_WORD - 返回 2 个字节以及器件故障条件的汇总
- STATUS_BYTE - 返回 1 个字节以及严重故障的汇总。它是 STATUS_WORD 的低位字节
- STATUS_VOUT - 返回特定电源轨的电压故障
- STATUS_IOUT - 返回特定电源轨的电流故障
- STATUS_TEMP - 返回特定电源轨的温度故障
- STATUS_CML - 返回通信故障状态
- STATUS_MFR - 返回制造商特定的故障。包括 GPI 故障、序列开启/关闭超时状态、存储器故障等。

13 器件复位

UCD91xxx 集成了一个用于监控电源电压的上电复位 (POR) 电路。上电时，POR 电路会检测 V33D 引脚的电压上升。当 V33D 电压大于 VRESET 时，器件退出复位状态。

可以通过连接到 RESET 引脚的外部电路强制器件进入复位状态。该引脚上的逻辑低电平电压持续时间超过 tRESET 时，会使器件进入复位状态。RESET 释放为逻辑高电压电平后，该器件在 tIRT 内退出复位状态。

无论何时器件退出复位状态，都会开始一个通常持续 40ms 的初始化例程。上电时会执行数据闪存校验和验证。如果校验和验证未通过，器件配置设置将被清除，PMBALERT 引脚将置为有效，且状态寄存器中的相应标志位被置位。上电时还会执行故障日志校验和验证。每个日志条目都包含校验和验证状态。系统仅丢弃损坏的日志条目。在初始化例程期间，所有 I/O 引脚均保持在高阻抗状态。初始化结束时，器件按照器件配置的规定开始正常运行。

14 ADC 基准

默认情况下，使用 V33A 引脚作为 ADC 基准电压是一种具有成本效益的方案。然而，内部电压基准的总未调误差较高。此外，V33A 引脚上的电压波动（例如器件掉电时）会影响 ADC 读数。为了获得更高的 ADC 精度，可以将外部电压基准连接到 VREFA+ 和 VREFA- 引脚。只要 V33D 高于 VBOR 阈值，就必须确保外部基准电压保持稳定。这一限制确保了在整个 V33D 工作范围内都能获得准确的 ADC 读数。

必须在 GUI 中配置外部基准电压电平，以便提供正确 ADC 读数。有关更多详细信息，请参阅 [MISC_CONFIG](#)。

15 系统看门狗

UCD91xxx 提供了一个系统看门狗计时器 (WDT)，可通过切换看门狗输入 (WDI) 引脚对其进行复位。如果 WDI 未在预设的编程周期内切换，则 WDT 超时。随后，看门狗输出 (WDO) 引脚置为有效 (产生一个脉冲) 以提供系统复位信号。

WDI 和 WDO 引脚均为 GPIO 引脚，属于可选功能。

- WDI 可以被 PMBus 命令 [SYSTEM_WATCHDOG_RESET](#) 替代。
- WDO 可以通过 LGPO 体现，或者其功能可以集成到“系统复位功能”中配置的系统复位引脚 (RESET) 上。有关更多详细信息，请参阅[系统复位](#)。

超时后，可以通过切换 WDI 引脚或通过发送 [SYSTEM_WATCHDOG_RESET](#) 命令来重新启动 WDT。

系统看门狗计时器可以在器件上电时立即激活或初始等待时间后激活。有关配置详细信息，请参阅 [SYSTEM_WATCHDOG_CONFIG](#)。

16 系统复位

系统复位功能可通过 **GPIO** 引脚生成可编程的系统复位信号。当所选电源轨的电压达到各自的“电源正常开启”阈值，且所选的 **GPI** 信号均已置为有效，再经过一个可编程的延迟时间后，系统复位信号将置为无效。

当任何选定的电源轨电压低于“电源正常关闭”阈值，或任何选定的 **GPI** 信号被置为无效时，系统复位信号可以立即被置为有效。此外，系统复位信号也可以配置为在实现“电源正常开启”后输出一个脉冲。

系统复位信号还可以集成系统看门狗计时器。看门狗配置有启动时间和复位时间。如果这些时间到期并发生超时，则表示提供 **WDI** 信号的 **CPU** 未能正常运行。随后系统复位信号将通过“延迟”或“**GPI** 跟踪释放延迟”进行翻转，以判断 **CPU** 是否能够恢复。

系统复位引脚的默认状态为置为有效。如果在正常运行期间通过 **PMBus** 命令在线配置系统复位功能，即使当前满足置为无效的条件，引脚默认仍会短暂置为有效。这是因为固件需要有限的时间来检查置为无效条件。

有关更多配置详细信息，请参阅 [SYSTEM_RESET_CONFIG](#)。

17 PMBus 规范

本文档经常提及 PMBus 规范，特别是 *PMBus 电源系统管理协议规范第 II 部分 - 命令语言*，修订版 1.2。该规范由 Power Management Bus Implementers Forum 发布，可从 <http://pmbus.org> 获取。

UCD91xxx 支持的状态类型如下所示。只要设置了其中任何一个位，PMBALERT# 线路就会置为有效。不支持的类型用灰色文本表示。

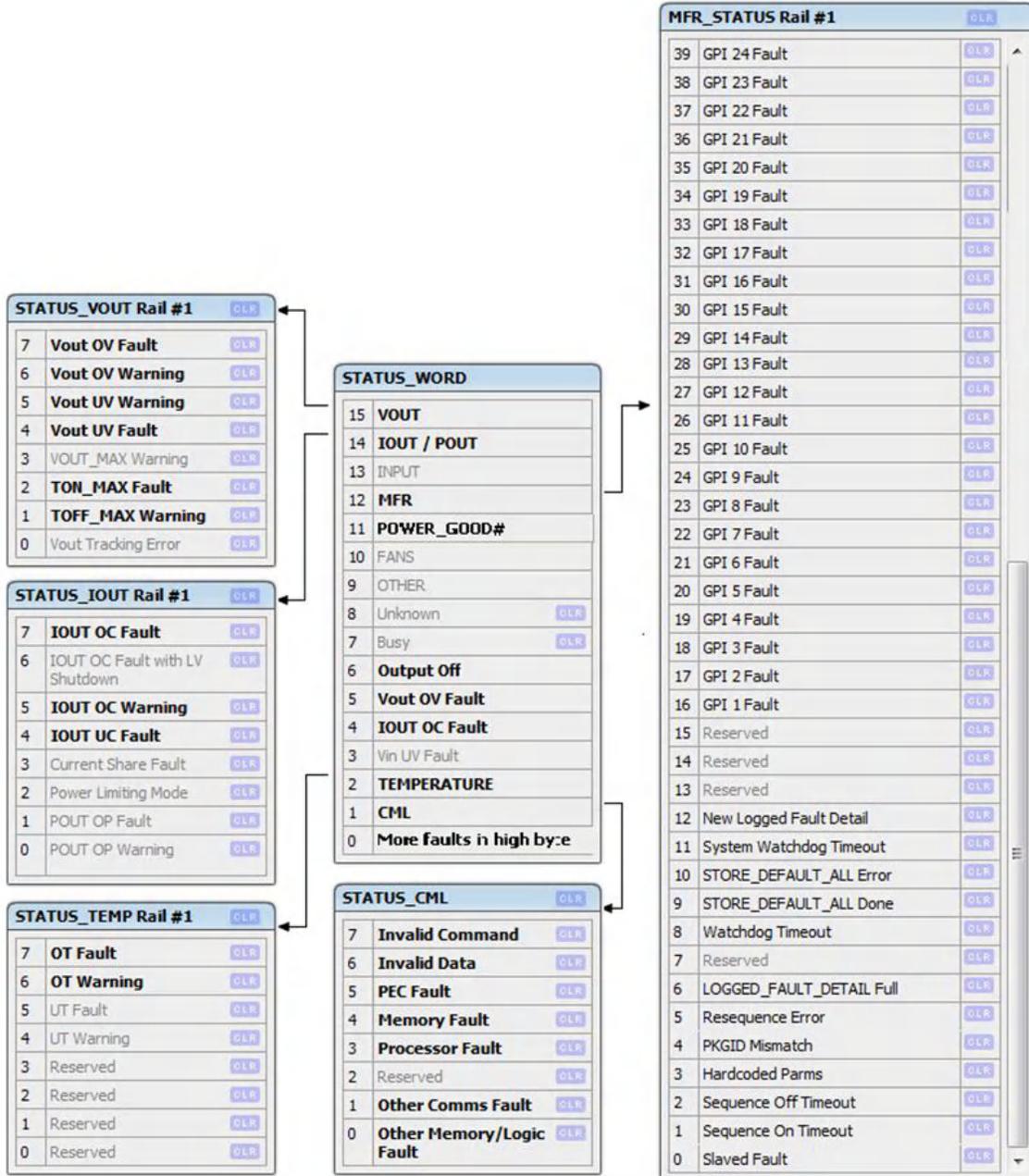


图 17-1. UCD91160 支持的 PMBus 状态

17.1 制造商特定状态 (STATUS_MFR_SPECIFIC)

标准 STATUS_MFR_SPECIFIC 命令没有足够的位来实现 UCD91xxx 的功能。此命令已被 MFR_STATUS 命令替代 (请参阅节 26.33)。

18 数据格式

PMBus 标准的第 7 节和第 8 节规定了五种不同的数据格式：三种用于与输出电压相关的参数，两种用于所有其他命令。每个 PMBus 器件应仅支持这些格式中的一种。

18.1 输出电压参数的数据格式

对于与输出电压相关的参数，UCD91xxx 支持 PMBus 规范第 8.3.1 节中定义的线性格式。对于每个参数，线性格式使用 16 位无符号尾数和一个所有电压相关参数共享的指数。指数在 VOUT_MODE 参数的最低 5 位中报告。

使用以下公式计算输出电压

$$\text{Voltage} = V \times 2^X \quad (2)$$

其中：

电压是相关参数，以伏特为单位，
V 是 16 位无符号二进制整数尾数，
X 是 VOUT_MODE 中的有符号 5 位二进制补码二进制整数指数。

例外情况：PMBus 标准假设所有输出电压都表示为正数；因此，所有与输出电压相关的参数都是无符号整数，但有一些值得注意的例外。VOUT_CAL_OFFSET 和 VOUT_CAL_MONITOR 值用于对输出电压进行微调，可以接受较小的负值。因此，这些参数被视为有符号二进制补码二进制整数。

18.2 其他参数的数据格式

对于与输出电压不直接相关的参数，UCD91xxx 支持 PMBus 规范第 7.1 节中所述的线性数据格式。这种线性格式是一个两字节的值，包含一个 11 位二进制补码尾数和一个 5 位二进制补码指数。

PMBus 参数与实际值之间的关系通过以下公式得出：

$$R = Y \times 2^X \quad (3)$$

其中：

R 是实数值，
Y 是 11 位有符号二进制补码二进制整数尾数，
X 是有符号 5 位二进制补码二进制整数指数。

这种伪浮点表示法允许通过 PMBus 发送大到 $\approx 33E6$ 和低至 $\approx 15E-6$ 的值。UCD91xxx 固件使用的内部变量大多为 16 位宽，不支持如此大宽的值范围。PMBus 设置的分辨率在很大程度上取决于 PMBus 值的指数（较大值的分辨率较粗）和内部变量的缩放。

18.3 区分线性数据格式

PMBus 规范使用同一术语“线性”描述用于电压相关参数的 16 位+指数格式和用于其他参数的 11 位+指数格式。在需要区分这两种数据格式时，本文档使用术语 LINEAR16 或 LINEAR11。

18.4 转换、量化和截断

UCD91xxx 使用的内部变量通常会进行调整，以充分利用原生单位（如 ADC 或 DAC 计数）而不是伏特或安培。因此，PMBus 写入和读取的值必须经过数学转换。这些转换及其固有的量化会导致写入 UCD91xxx 的设置与稍后从中读回的值之间产生非常细微的差异。这是正常且合规的，如 PMBus 规范的第 7.4 节所述。

在某些情况下，写入器件的值可能会导致器件超出其内部变量的范围。在某些情况下，器件会将这种情况报告为错误；在其他情况下，器件会使变量饱和，使其处于安全值。在所有情况下，PMBus 读回的值尽可能准确地反映 UCD91xxx 实际使用的内部变量。

18.5 8 位时间编码

为了在不需要精度时节省存储器空间，一些命令会编码 8 位的时间参数。8 个位分为两个字段。位 6 和 7 是乘数字段的索引，位 0 至 5 是尾数 (0x00 至 0x3F)。将这两者相乘可以得出时间。无论乘数值如何，尾数 0 都会导致时间为 0。

表 18-1. 8 位时间编码

乘数索引	乘数 (ms)	产生的范围
b' 00	1	0 至 63ms
b' 01	8	8 至 504ms
b' 10	64	64ms 至 4.032s
b' 11	512	512ms 至 32.256s

18.6 16 位时间编码

16 个位分为两个字段：位 14 和 15 是乘数字段的索引，位 0 至 13 是尾数 (0x00 至 0x3FFF)。将这两者相乘可以得出时间。无论增量值如何，尾数 0 都会导致时间为 0。

表 18-2. 16 位时间编码

乘数索引	乘数 (ms)	产生的范围
b' 00	1	1 至 16384ms
b' 01	8	8 至 131.72s
b' 10	64	64ms 至 1048.576s
b' 11	512	512ms 至 8388.608s

19 存储器模型

PMBus 规范的第 6 节介绍了 PMBus 器件的存储器模型。PMBus 器件使用的值从以下一个或多个位置加载到易失性操作存储器中：

- 硬编码到集成电路 (IC) 设计中的值 (如果有)
- 在硬件引脚编程的值 (如果有)
- 名为“默认存储”的非易失性存储器
- 名为“用户存储”的非易失性存储器 (UCD91xxx 不支持)
- PMBus 通信

UCD91xxx 包含用作操作存储器的 RAM。嵌入式数据闪存用于实现硬编码值和默认存储的值。硬编码值需要新的固件版本。如节 22.5 所述，可以使用 STORE_DEFAULT_ALL 命令更改默认存储中的值。

PMBus 规范的第 6.1 节介绍了存储器的加载顺序和优先级。通常，硬编码参数首先加载到操作存储器中。其次，任何可通过引脚编程的设置都会生效。第三，加载默认存储中的值。最后，PMBus 发出的命令生效。在所有情况下，对参数进行的操作都会覆盖操作存储器中已有的任何先前值。

20 警报响应地址支持

UCD91xxx 支持使用 PMBALERT# 线路向主机通知警告或故障条件。它不支持警报响应地址协议。

21 支持的 PMBus 命令

表 21-1 列出了 PMBus 命令。命令 00h 至 CFh 在 PMBus 规范中定义，被视为所有制造商和产品的标准化内核命令。有关如何实现内核命令的详细信息，请参阅 PMBus 规范。命令 D0h 至 FEh 是制造商特定命令，对于每个制造商和产品来说可能是唯一的。

器件列指示给定器件是否支持命令。如果此列中出现复选标记 (✓)，则支持该命令。任何器件都不支持的命令显示为灰色。

大多数命令支持写入和读取。“注释”列中会指示例外情况。

“数据格式”列指示数据的格式：

字节	8 位二进制值。有关每条命令的详细信息，请参阅 PMBus 规范。
LINEAR16	用于输出电压参数的 16 位线性格式。在节 18.1 进行介绍。
LINEAR11	用于输出电压以外参数的 11 位线性格式。在节 18.2 进行介绍。
不适用	命令没有数据字段。
串式	ASCII 字符串。在 PMBus 规范的第 22.2 节中进行介绍。
字节数组	二进制格式的数据块。

“范围”列指示 PAGE 设置对每条命令的影响。

通用	此命令不依赖于 PAGE 设置。它是所有页面使用的通用变量。
PAGE	此命令适用于由最新 PAGE 命令设置的页面。有关详细信息，请参阅节 22.1。

表 21-1 中的“页面”列指向有关命令的更多其他详细信息。不在括号中的数字对应于 PMBus 电源系统管理协议规范第 II 部分 — 命令语言，修订版 1.2 中的页面。括号中的数字是本文档中的页码。

“数据闪存”列指示参数是否存储在数据闪存中的默认存储中。如果该列中有 x，参数未存储。有关更多信息，请参阅节 22.5。

大多数命令用于器件配置，通常器件配置仅在 TI 提供的配置 GUI 帮助下进行行一次。在常规运行中，经常使用的仅仅是其中一部分命令。这些命令用**粗体**字突出显示。

表 21-1. PMBus 命令

代码 (十六进制)	命令	事务类型	数据格式 [单位]	范围	UC D91 160	UC D91 320	数据闪存	注释
00	PAGE	读/写字节	字节	通用	✓	✓	X	
01	OPERATION	读/写字节	字节	PAGE	✓	✓	X	
02	ON_OFF_CONFIG	读/写字节	字节	PAGE	✓	✓		
03	CLEAR_FAULTS	发送字节	不适用	通用	✓	✓		只写
04	PHASE							
05-0F	保留							
10	WRITE_PROTECT							
11	STORE_DEFAULT_ALL	发送字节	不适用	通用	✓	✓		只写 ⁽²⁾
12	RESTORE_DEFAULT_ALL	发送字节	不适用	通用				只写
13	STORE_DEFAULT_CODE							
14	RESTORE_DEFAULT_CODE							
15	STORE_USER_ALL							
16	RESTORE_USER_ALL							
17	STORE_USER_CODE							
18	RESTORE_USER_CODE							
19	CAPABILITY	读取字节	字节	通用	✓	✓		只读
1A	QUERY							
1B-1F	保留							

表 21-1. PMBus 命令 (续)

代码 (十六进制)	命令	事务类型	数据格式 [单位]	范围	UC D91 160	UC D91 320	数据闪存	注释
20	VOUT_MODE	读/写字节	字节	PAGE	✓	✓		模式固定为 000 (线性模式), 但可以修改指数。有关详细信息, 请参见节 18.1 和节 22.7。
21	VOUT_COMMAND	读/写字	LINEAR16 [V]	PAGE	✓	✓		
22	VOUT_TRIM							
23	VOUT_CAL_OFFSET							
24	VOUT_MAX							
25	VOUT_MARGIN_HIGH	读/写字	LINEAR16 [V]	PAGE	✓	✓		
26	VOUT_MARGIN_LOW	读/写字	LINEAR16 [V]	PAGE	✓	✓		
27	VOUT_TRANSITION_RATE							
28	VOUT_DROOP							
29	VOUT_SCALE_LOOP							
2A	VOUT_SCALE_MONITOR	读/写字	LINEAR11 [V/V]	PAGE	✓	✓		
2B-2F	保留							
30	COEFFICIENTS							
31	POUT_MAX							
32	MAX_DUTY							
33	FREQUENCY_SWITCH							
34	保留							
35	VIN_ON							
36	VIN_OFF							
37	INTERLEAVE							
38	IOUT_CAL_GAIN	读/写字	LINEAR11 [mV/A = mΩ]	PAGE				电流检测增益
39	IOUT_CAL_OFFSET	读/写字	LINEAR11 [A]	PAGE				
3A	FAN_CONFIG_1_2							
3B	FAN_COMMAND_1	读/写字	LINEAR11 [%]	通用				
3C	FAN_COMMAND_2	读/写字	LINEAR11 [%]	通用				
3D	FAN_CONFIG_3_4							
3E	FAN_COMMAND_3	读/写字	LINEAR11 [%]	通用				
3F	FAN_COMMAND_4	读/写字	LINEAR11 [%]	通用				
40	VOUT_OV_FAULT_LIMIT	读/写字	LINEAR16 [V]	PAGE	✓	✓		
41	VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	读/写字节	字节	PAGE				请参阅 FAULT_RESPONSES 命令
42	VOUT_OV_WARN_LIMIT	读/写字	LINEAR16 [V]	PAGE	✓	✓		
43	VOUT_UV_WARN_LIMIT		读/写字	LINEAR16 [V]	✓	✓	✓	
44	VOUT_UV_FAULT_LIMIT		读/写字	LINEAR16 [V]	✓	✓	✓	
45	VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	读/写字节	字节	PAGE				请参阅 FAULT_RESPONSES 命令
46	IOUT_OC_FAULT_LIMIT	读/写字	LINEAR11 [A]	PAGE				(1)
47	IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	读/写字节	字节	PAGE				请参阅 FAULT_RESPONSES 命令
48	IOUT_OC_LV_FAULT_LIMIT							
49	IOUT_OC_LV_FAULT_RESPONSE							
4A	IOUT_OC_WARN_LIMIT	读/写字	LINEAR11 [A]	PAGE				(1)
4B	IOUT_UC_FAULT_LIMIT	读/写字	LINEAR11 [A]	PAGE				(1)
4C	IOUT_UC_FAULT_RESPONSE	读/写字节	字节	PAGE				请参阅 FAULT_RESPONSES 命令

表 21-1. PMBus 命令 (续)

代码 (十六进制)	命令	事务类型	数据格式 [单位]	范围	UC D91 160	UC D91 320	数据闪存	注释
4D	保留							
4E	保留							
4F	OT_FAULT_LIMIT	读/写字	LINEAR11 [°C]	PAGE	✓	✓		
50	OT_FAULT_RESPONSE	读/写字节	字节	PAGE				请参阅 FAULT_RESPONSES 命令
51	OT_WARN_LIMIT		读/写字	LINEAR11 [°C]	✓	✓		
52	UT_WARN_LIMIT						✓	
53	UT_FAULT_LIMIT							
54	UT_FAULT_RESPONSE							
55	VIN_OV_FAULT_LIMIT							
56	VIN_OV_FAULT_RESPONSE							
57	VIN_OV_WARN_LIMIT							
58	VIN_UV_WARN_LIMIT							
59	VIN_UV_FAULT_LIMIT							
5A	VIN_UV_FAULT_RESPONSE							
5B	IIN_OC_FAULT_LIMIT							
5C	IIN_OC_FAULT_RESPONSE							
5D	IIN_OC_WARN_LIMIT							
5E	POWER_GOOD_ON	读/写字	LINEAR16 [V]	PAGE	✓	✓		
5F	POWER_GOOD_OFF	读/写字	LINEAR16 [V]	PAGE	✓	✓		
60	TON_DELAY	读/写字	LINEAR11 [ms]	PAGE	✓	✓		此命令不适用于重试
61	TON_RISE							
62	TON_MAX_FAULT_LIMIT	读/写字	LINEAR11 [ms]	PAGE	✓	✓		达到 POWER_GOOD_ON 的最长时间
63	TON_MAX_FAULT_RESPONSE	读/写字节	字节	PAGE				请参阅 FAULT_RESPONSES 命令
64	TOFF_DELAY	读/写字	LINEAR11 [ms]	PAGE	✓	✓		
65	TOFF_FALL							
66	TOFF_MAX_WARN_LIMIT	读/写字	LINEAR11 [ms]	PAGE	✓	✓		
67	保留							
68	POUT_OP_FAULT_LIMIT							
69	POUT_OP_FAULT_RESPONSE							
6A	POUT_OP_WARN_LIMIT							
6B	PIN_OP_WARN_LIMIT							
6C-77	保留							
78	STATUS_BYTE	读取字节	字节	通用	✓	✓	X	只读
79	STATUS_WORD	读取字	字	通用	✓	✓	X	只读
7A	STATUS_VOUT	读取字节	字节	PAGE	✓	✓	X	只读
7B	STATUS_IOUT	读取字节	字节	PAGE			X	只读
7C	STATUS_INPUT							
7D	STATUS_TEMPERATURE	读取字节	字节	PAGE	✓	✓	X	只读
7E	STATUS_CML	读取字节	字节	通用	✓	✓	X	只读
7F	STATUS_OTHER							
80	STATUS_MFR_SPECIFIC							请参阅第 79 页上的 MFR_STATUS
81	STATUS_FANS_1_2	读取字节	字节	通用				只读
82	STATUS_FANS_3_4	读取字节	字节	通用				只读
83-87	保留							
88	READ_VIN							
89	READ_IIN							

表 21-1. PMBus 命令 (续)

代码 (十六进制)	命令	事务类型	数据格式 [单位]	范围	UC D91 160	UC D91 320	数据闪存	注释
8A	READ_VCAP							
8B	READ_VOUT	读取字	LINEAR16 [V]	PAGE	✓	✓	X	只读
8C	READ_IOUT	读取字	LINEAR11 [A]	PAGE			X	只读
8D	READ_TEMPERATURE_1	读取字	LINEAR11 [°C]	通用	✓	✓	X	只读
8E	READ_TEMPERATURE_2	读/写字	LINEAR11 [°C]	PAGE			X	
8F	READ_TEMPERATURE_3							
90	READ_FAN_SPEED_1	读取字	LINEAR11 [RPM]	通用				只读 (仅在启用风扇时有效。)
91	READ_FAN_SPEED_2	读取字	LINEAR11 [RPM]	通用				只读 (仅在启用风扇时有效。)
92	READ_FAN_SPEED_3	读取字	LINEAR11 [RPM]	通用				只读 (仅在启用风扇时有效。)
93	READ_FAN_SPEED_4	读取字	LINEAR11 [RPM]	通用				只读 (仅在启用风扇时有效。)
94	READ_DUTY_CYCLE							
95	READ_FREQUENCY							
96	READ_POUT							
97	READ_PIN							
98	PMBUS_REVISION	读取字节	字节	通用	✓	✓		只读
99	MFR_ID	读/写块 (18 字节)	串式	通用	✓	✓		
9A	MFR_MODEL	读/写块 (12 字节)	串式	通用	✓	✓		
9B	MFR_REVISION	读/写块 (12 字节)	串式	通用	✓	✓		
9C	MFR_LOCATION	读/写块 (12 字节)	串式	通用	✓	✓		
9D	MFR_DATE	读/写块 (6 字节)	串式	通用	✓	✓		
9E	MFR_SERIAL	读/写块 (12 字节)	串式	通用	✓	✓		
9F	保留							
A0	MFR_VIN_MIN							
A1	MFR_VIN_MAX							
A2	MFR_IIN_MAX							
A3	MFR_PIN_MAX							
A4	MFR_VOUT_MIN							
A5	MFR_VOUT_MAX							
A6	MFR_IOUT_MAX							
A7	MFR_POUT_MAX							
A8	MFR_TAMBIENT_MAX							
A9	MFR_TAMBIENT_MIN							
AA-AC	保留							
AD	IC_DEVICE_ID	块读取	串式	通用	✓	✓		PMBus 1.2
AE	IC_DEVICE_REV	块读取	串式	通用	✓	✓		PMBus 1.2
AF	保留							
B0-B4	MFR_STATUS_0- MFR_STATUS_4	读取字节	字节	通用	✓	✓		命令字节值与 SMBALERT_MASK (0x1B) 一起使用, 以写入/读取 MFR_STATUS SMB Alert 屏蔽
B5	FIRST_BLACK_BOX_FAULT_INFO(USER_DATA_05)	块写入/读取 (16 字节)	字节数组	通用	✓	✓		
B6	LAST_BLACK_BOX_FAULT_INFO(USER_DATA_06)	块读取	字节数组	通用	✓	✓		
B7	保留	块读取	字节数组	通用				

表 21-1. PMBus 命令 (续)

代码 (十六进制)	命令	事务类型	数据格式 [单位]	范围	UC D91 160	UC D91 320	数据闪存	注释
B8	RAIL_PROFILE(USER_DATA_08)	块读取	字节数组	PAGE	✓	✓		
B9	RAIL_STATE(USER_DATA_09)	R 块	字节数组	PAGE	✓	✓		提供当前、过去和挂起的电源轨状态。
BA-BF	USER_DATA_10 - USER_DATA_15							
C0-CF	保留							
D0	FAULT_PIN_CONFIG (MFR_SPECIFIC_00)	R/W 块	字节数组	通用	✓	✓		必须与 GPI_CONFIG 一起配置, 后者选择用于输入源的外部引脚
D1	VOUT_CAL_MONITOR (MFR_SPECIFIC_01)	读/写字	LINEAR16 [V]	PAGE	✓	✓	X	READ_VOOUT 中使用的传感器的偏移校准值。有符号。
D2	SYSTEM_RESET_CONFIG (MFR_SPECIFIC_02)	读/写块 (4、6 或 9 字节)	字节数组	通用	✓	✓	X	配置系统复位功能
D3	SYSTEM_WATCHDOG_CONFIG (MFR_SPECIFIC_03)	读/写块 (6 字节)	字节数组	通用	✓	✓		配置系统看门狗功能
D4	SYSTEM_WATCHDOG_RESET (MFR_SPECIFIC_04)	发送字节	不适用	通用	✓	✓		复位系统看门狗超时计数器
D5	MONITOR_CONFIG (MFR_SPECIFIC_05)	读/写块	字节数组	通用	✓	✓		配置引脚以进行监控 (电压、温度等)
D6	NUM_PAGES (MFR_SPECIFIC_06)	读取字节	字节	通用	✓	✓		只读 返回活动页面的数量
D7	RUN_TIME_CLOCK (MFR_SPECIFIC_07)	读/写块	字节数组	通用	✓	✓		以 RTC 格式提供的时间 (年、月、日、小时、分钟、秒、毫秒)。
D8	RUN_TIME_CLOCK_TRIM (MFR_SPECIFIC_08)	读/写字	字节数组 (LINEAR11)	通用	✓	✓		用于校准运行时钟的 PPM 调整
D9	保留 (MFR_SPECIFIC_09)		不适用					
DA	USER_RAM_00 (MFR_SPECIFIC_10)	读/写字节	字节	通用	✓	✓		器件复位期间设置为 0 的 RAM 值。通过向此变量写入非零值然后监控其值, 主机可以确定发生了器件复位。
DB	SOFT_RESET (MFR_SPECIFIC_11)	发送字节	不适用	通用	✓	✓		只写 此命令会重新启动控制器固件
DC	RESET_COUNT (MFR_SPECIFIC_12)	读/写字 (1)	2 字节 (1)	通用				器件已进行复位的次数。
DD	PIN_SELECTED_RAIL_STATES (MFR_SPECIFIC_13)	读取写入块 (18 字节)	字节数组	通用	✓	✓		允许在输入引脚上进行编码, 以决定每个电源轨的状态。
DE	RESEQUENCE (MFR_SPECIFIC_14)	写入字	2 字节	通用	✓	✓	X	命令选择的要重新定序的电源轨。(只写)入
DF	CONSTANTS (MFR_SPECIFIC_15)	读取块 (8 字节)	字节数组	通用	✓	✓		修复了有关器件的信息
E0	PWM_SELECT (MFR_SPECIFIC_16)	读/写字节	字节	通用	✓	✓	X	确定 PWM_CONFIG 命令应用于哪个 PWM
E1	PWM_CONFIG (MFR_SPECIFIC_17)	读/写块 (8 字节)	字节数组	通用	✓	✓		配置 PWM (频率、占空比和相位)
E2	PARAM_INFO (MFR_SPECIFIC_18)	读/写块 (5 字节)	字节数组	通用	✓	✓	X	参数信息: <parm base> <parm offset low byte> <parm offset high byte> <parm count> <parm size> 此命令设置 Param Value 命令使用的参数
E3	PARAM_VALUE (MFR_SPECIFIC_19)	读/写块	字节数组	通用	✓	✓	X	传输到 PARAM_INFO 命令选择的存储器位置的值
E4	TEMPERATURE_CAL_GAIN (MFR_SPECIFIC_20)	读/写字	LINEAR11 [°C/mV]	PAGE	✓	✓		READ_TEMPERATURE_2 命令使用的外部传感器的增益校准

表 21-1. PMBus 命令 (续)

代码 (十六进制)	命令	事务类型	数据格式 [单位]	范围	UC D91 160	UC D91 320	数据闪存	注释
E5	TEMPERATURE_CAL_OFFSET (MFR_SPECIFIC_21)	读/写字	LINEAR11[°C]	PAGE	✓	✓		READ_TEMPERATURE_2 命令使用的外部传感器的偏移校准
E6	SET_BREAKPOINTS (MFR_SPECIFIC_22)	读/写字	2 字节	页	✓	✓		用于为给定状态设置断点
E7	DEBUG_CONTINUE (MFR_SPECIFIC_23)	读/写字节 (4 字节)	字节数组	通用	✓	✓		用于指示页面应退出断点状态
E8	(MFR_SPECIFIC_24)							
E9	FAULT_RESPONSES (MFR_SPECIFIC_25)	读/写块 (9 字节)	字节数组	PAGE	✓	✓		定义了对所有受支持故障的响应
EA	LOGGED_FAULTS (MFR_SPECIFIC_26)	读/写块	字节数组	通用	✓	✓		数据闪存中的标志, 在每个页面上出现每种故障类型时设置 ⁽²⁾
EB	LOGGED_FAULT_DETAIL_INDEX (MFR_SPECIFIC_27)	读/写字	2 字节	通用	✓	✓	X	LOGGED_FAULT_DETAIL 条目的数量以及这些条目的读取/写入索引
EC	LOGGED_FAULT_DETAIL (MFR_SPECIFIC_28)	读取块	字节数组	通用	✓	✓		有关已发生故障的详细信息
ED	LOGGED_PAGE_PEAKS (MFR_SPECIFIC_29)	读/写块	字节数组、字节 [°C]、LINEAR16 [V]、LINEAR11 [amp]	PAGE				给定页面的峰值温度、电压和电流, 存储在数据闪存中 ⁽²⁾
EE	LOGGED_COMMON_PEAKS (MFR_SPECIFIC_30)	读/写字节	字节 [°C]	通用				峰值内部温度 ⁽²⁾
EF	LOGGED_FAULT_DETAIL_ENAB LES (MFR_SPECIFIC_31)	读/写块	字节数组	通用	✓	✓		可按电源轨和故障类型选择的故障记录
F0	EXECUTE_FLASH (MFR_SPECIFIC_32)	发送字节	不适用	通用				如果处于 ROM 模式, 则启动在闪存模式下执行的器件。如果已处于闪存模式, 则命令无效。
F1	SECURITY (MFR_SPECIFIC_33)	读/写块 (6 字节)	二进制数组	通用				设置用于防止未经授权修改器件设置的密码
F2	SECURITY_BIT_MASK (MFR_SPECIFIC_34)	读/写块 (32 字节)	二进制数组	通用				配置哪些命令受密码保护。
F3	MFR_STATUS (MFR_SPECIFIC_35)	读取块 (2 或 4 字节)	字节数组	PAGE	✓	✓	X	替代 STATUS_MFR_SPECIFIC 命令
F4	GPI_FAULT_RESPONSES (MFR_SPECIFIC_36)	读/写块	字节数组	PAGE	✓	✓		每个页面的 GPI 故障响应
F5	MARGIN_CONFIG (MFR_SPECIFIC_37)	读/写字节	字节	PAGE	✓	✓		选择裕度调节引脚和其他裕度调节配置
F6	SEQ_CONFIG (MFR_SPECIFIC_38)	读/写块 (6-12 字节)	字节数组	PAGE	✓	✓		配置定序依赖和使能引脚
F7	GPO_CONFIG_INDEX (MFR_SPECIFIC_39)	读/写字节	字节	通用	✓	✓	X	选择 GPO_CONFIG 命令应用于哪个 GPO
F8	GPO_CONFIG (MFR_SPECIFIC_40)	读/写块 (20 或 29 字节)	字节数组	通用	✓	✓		配置输出引脚及其依赖
F9	GPI_CONFIG (MFR_SPECIFIC_41)	读/写块 (13 字节)	字节数组	通用	✓	✓		配置输入引脚
FA	GPIO_SELECT (MFR_SPECIFIC_42)	读/写字节	字节	通用	✓	✓	X	确定 GPIO_CONFIG 命令应用于哪个 GPIO
FB	GPIO_CONFIG (MFR_SPECIFIC_43)	读/写字节	字节	通用	✓	✓		设置或获取 GPIO 的状态
FC	MISC_CONFIG (MFR_SPECIFIC_44)	读/写块	2 字节	通用	✓	✓		其他配置设置
FD	DEVICE_ID (MFR_SPECIFIC_45)	读取块 (最多 32 字节)	串式	通用	✓	✓		返回 ASCII 字符串, 其中包含控制器的硬件和固件版本信息
FE	Mfr_Specific_Extended_Command				✓	✓		

表 21-1. PMBus 命令 (续)

代码 (十六进制)	命令	事务类型	数据格式 [单位]	范围	UC D91 160	UC D91 320	数据闪存	注释
FF	PMBUS_Extended_Command				✓	✓		

- (1) 仅当相关电压处于稳压状态时，才会应用这些值。如果没有相关的电压监控器，则会在电源轨启用后且在 TON_DELAY 之后应用这些值。
- (2) 对此命令的写入可能会收到 NACK。当固件开始数据闪存的定期或命令更新时，最长可能需要 100ms 时间来完成。在此期间，对这些命令的写入会收到 NACK。如果发生这种情况，请等待 100ms 然后重试命令。此注释仅适用于未启用欠压功能的情况 (请参阅 MISC_CONFIG 中的欠压启用模式)。

22 PMBus 内核命令的实现详细信息

PMBus 规范中定义了以下 PMBus 内核命令。本节介绍了 UCD91xxx 实现的独有详细信息。

22.1 (00h) PAGE

PAGE 命令能够使用一个 PMBus 物理地址在一个器件上配置、控制和监控多个输出能。发送 PAGE 命令后，所有后续命令都将应用于 PAGE 命令所选电源轨的设置。

该 GUI 使用术语“电源轨”指代电压输出。电源轨从 1 开始编号，而页面从零开始编号。PMBus PAGE 值与电源轨编号之间的关系如表 22-1 所示。

设置 PAGE = 0xFF 意味着以下写入命令可应用于所有输出。页面设置 0xFF 对于所有读取命令都无效，但 PAGE 命令除外。

表 22-1. PAGE 与电源轨之间的关系 (适用于具有 32 个电源轨的器件)

页	输出电源轨
0	1
1	2
2	3
...	...
31	32
32 - 254	无效
255 (0xFF)	全部

PMBus 规范的第 11.10 节更详细地介绍了 PAGE 命令。

22.2 (01h) OPERATION

此命令用于打开和关闭输出以及来自 CONTROL 引脚的输入。PMBus 规范的第 12.1 节更详细地介绍了此命令。

UCD91xxx 支持 Operation 命令的以下模式：

- 立即关闭 (无定序)
- 软关闭 (有定序)
- 以标称值开启 (无裕度调节)
- 以高裕度开启 (忽略故障)
- 以高裕度开启 (对故障执行操作)
- 以低裕度开启 (忽略故障)
- 以低裕度开启 (对故障执行操作)

22.3 (0Eh) PASSKEY

该读取/写入块 PASSKEY 命令与节 22.4 中所述的 ACCESS_CONTROL 命令结合使用，通过设置器件的内部锁定和解锁状态，限制对更新 ACCESS_CONTROL 值而进行的访问。PASSKEY 是一个 8 字节值，写入后无法从器件中读取。

表 22-2. PASSKEY 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷编号	写入说明	读取说明
0			命令字节 = 0x0E	
1	0		字节计数 = 08h	
2	1	0	Passkey 字节 (LSB)	Passkey 状态字节
3	2	1	Passkey 字节	保留

表 22-2. PASSKEY 命令格式 (续)

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷编号	写入说明	读取说明
...
9	8	7	Passkey 字节 (MSB)	保留

未设置 Passkey 时，向 UCD91xxx 器件写入非零 Passkey 值将会将 Passkey 设置为写入值。当设置了 Passkey 但器件未锁定时，向 PASSKEY 命令写入所有 0x00 值将取消设置 Passkey 并允许在需要时设置新 Passkey。写入设置的 Passkey 值将锁定器件，从而防止对 ACCESS_CONTROL 命令的写入生效。

如果 PASSKEY 锁定，则 UCD91xxx 在 POR 时最多允许 7 次尝试解锁器件。如果在这 7 次尝试中未能解锁器件，则会锁定 ACCESS_CONTROL 命令直到执行器件复位。在超出允许的尝试次数时写入正确的 PASSKEY 将不会解锁器件。如果通过 STORE_DEFAULTS_ALL 命令存储设置的 PASSKEY 值，则器件在复位时将以锁定状态启动，并且在 PASSKEY 解锁之前将不能更新访问控制值。用户可以读取 PASSKEY 命令，以确定器件的当前锁定/解锁状态以及是否还有任何解锁尝试。此信息的格式如表 22-3 中所示。

表 22-3. Passkey 状态字节值

Passkey 读取字节值	含义
0x00	Passkey 状态已解锁 (可以设置或取消设置)。
0x1X	Passkey 状态已锁定。x 指示自上次器件复位以来失败的解锁尝试次数。
0x1F	Passkey 状态已锁定。已超出最大解锁尝试次数。

22.4 (0Fh) ACCESS_CONTROL

ACCESS_CONTROL 命令使用写入字命令格式进行写入，使用过程调用格式进行读取，如 PMBus 标准中所述。此命令允许系统集成商按照自己的意愿、受 PASSKEY 锁定/解锁状态限制 (请参阅节 22.3) 或永久地将读写访问限制为受支持的命令。

表 22-4 展示了 ACCESS_CONTROL 命令每个写入字节的解释。表 22-5 展示了 ACCESS_CONTROL 选项字节中可用的值和字段，以及 UCD91xxx 系列器件中支持哪些值和哪些值可存储。所有非安全相关的 UCD91xxx 命令均受支持，并具有自己的访问控制字节和独立设置。不支持以下命令：

- (0Eh) PASSKEY
- (0Fh) ACCESS_CONTROL

表 22-4. ACCESS_CONTROL 写入格式

字节编号 (写入)	有效载荷编号	说明
0		COMMAND_BYTE = 0Fh
1	0	ACCESS_CONTROL 目标命令代码
2	1	访问控制选项字节

表 22-5. 访问控制字节解释

位	7	6	5	4	3	2	1	0
值	WRITE_ACCESS	READ_ACCESS	AUTHENTICATED_WRITE	NVM_STORE	NVM_RESTORE	WRITE_ONCE	NO_MORE	NEVER_AGAIN
UCD91xx 支持	是	是	否	否	否	是	是	是
可存储	是	是	否	否	否	是	否	是

UCD91xx 系列器件的访问控制选项的行为如下：

- **WRITE_ACCESS**：设置此位时，会限制对目标命令代码的写入。尝试写入这些命令会在 STATUS_CML 寄存器中设置无效数据错误。
- **READ_ACCESS**：设置此位时，会限制对目标命令代码的读取，并且尝试读取这些命令会在 STATUS_CML 寄存器中设置无效数据错误。
- **WRITE_ONCE**：设置此位时，目标命令代码将仅允许进行单次写入，并且此后将限制 WRITE_ACCESS。需要进行 POR 来复位允许的写入次数。请注意，尝试写入 READ_ONLY 命令不会在写入尝试后更新 ACCESS_CONTROL 字节设置，因为对这些命令的写入已经受到限制。
- **NO_MORE**：设置此位时，在下次 POR 之前，目标命令代码的 ACCESS_CONTROL 字节设置将不允许进行更多次写入。即使 PASSKEY 已解锁，也是如此。此位不可存储。
- **NEVER_AGAIN**：设置此位时，其行为与 NO_MORE 位相同。当使用 STORE_DEFAULT_ALL 命令存储它并执行 POR 时，给定目标命令代码的 ACCESS_CONTROL 字节将被永久锁定。如果尚未存储该位，进行 POR 可以清除此位状态。

备注

当启用 WRITE_ONCE 功能并针对给定命令执行单次写入时，WRITE_ACCESS 位将被视为已设置。此时执行 STORE_DEFAULT_ALL 命令将存储 WRITE_ACCESS 值，对该命令的后续 POR 写入将被禁用。在执行 STORE_DEFAULT_ALL 命令之前，用户必须确保要存储的 ACCESS_CONTROL 值正确。

表 22-6 显示了用于读取 ACCESS_CONTROL 命令的格式。ACCESS_CONTROL 字节的返回值取决于读取选项字节的值，如表 22-7 中所述。

表 22-6. ACCESS_CONTROL 命令读取格式

字节编号	写入/读取	说明
0	写入	COMMAND_BYTE = 0Fh
1	写入	目标命令代码
2	写入	读取选项
重复启动 + 地址字节		
3	读取	目标命令代码
4	读取	访问控制字节

表 22-7. ACCESS_CONTROL 读取选项字节

写入的读取选项	访问控制字节值
0x00	当前访问控制字节设置
0x02	支持的访问控制字节设置
0x80	可存储的访问控制字节设置

22.5 (11h) STORE_DEFAULT_ALL

STORE_DEFAULT_ALL 命令将来自操作存储器的 PMBus 参数保存到数据闪存的默认存储中。UCD91xxx 在启动时或在 RESTORE_DEFAULT_ALL 命令之后使用一组最新写入默认存储的值。如果从未向默认存储写入值，则会使用硬编码存储器中的值。

备注

如果在该保存操作完成之前进行下电上电或复位，则器件配置可能会损坏。为确保保存操作成功，在写入 STORE_DEFAULT_ALL 命令后，等待 STORE_DEFAULT_ALL_DONE 位被设置（请参阅 [MFR_STATUS](#)）。设置该位后，检查 STORE_DEFAULT_ALL_ERROR 位。如果设置了 STORE_DEFAULT_ALL_DONE 位并且未设置 STORE_DEFAULT_ALL_ERROR，则操作成功。

备注

在该保存操作期间不会执行监控和其他任务（包括 PMBus 通信），保存操作可能需要长达 100 毫秒的时间。

22.6 (12h) RESTORE_DEFAULT_ALL

RESTORE_DEFAULT_ALL 命令将 PMBus 参数从默认存储恢复到操作存储器中。如果从未向默认存储写入值，则会使用硬编码存储器中的值。

UCD91xxx 不支持此命令。

备注

复位器件是执行该操作的更好（更彻底）的方法。

22.7 (1Bh) SMBALERT_MASK

此命令在 PMBUS 规范 1.2 中增补并在第 15.38 节进行了介绍。它用于阻止状态位将 SMBALERT# 信号置为有效。有关格式详细信息，请参阅 PMBUS 规范文档。此命令必须与状态命令代码一起使用，才能写入或读取特定状态位的屏蔽。可与此命令一同使用的状态命令代码包括：

- STATUS_VOUT
- STATUS_IOUT
- STATUS_TEMPERATURE
- STATUS_CML

另一个状态命令代码 MFR_STATUS 也需要与 SMBALERT_MASK 命令一起使用。但是，SMBALERT_MASK 一次只能写入/读取一个字节屏蔽。由于 MFR_STATUS 包含 48 位，因此它被拆分为 6 个子命令才能与 SMBALERT_MASK 命令一起使用：

- MFR_STATUS_0：用对于 MFR_STATUS 位 7 至 0
- MFR_STATUS_1：用对于 MFR_STATUS 位 15 至 8
- MFR_STATUS_2：用对于 MFR_STATUS 位 23 至 16
- MFR_STATUS_3：用对于 MFR_STATUS 位 31 至 24
- MFR_STATUS_4：用对于 MFR_STATUS 位 39 至 32
- MFR_STATUS_5：用对于 MFR_STATUS 位 47 至 40

22.8 (20h) VOUT_MODE

PMBus 规范的第 8.1 节和 8.2 节介绍了此命令，它表示所有与输出电压相关的命令（所有 LINEAR16 命令）使用的数据格式。该命令包括一个 3 位模式字段和一个 5 位参数字段。在 UCD91xxx 中，模式字段是只读的，固定为 000b（线性数据格式，如节 18.1 中所述）。参数字段是指数值，可以修改。

备注

在修改受此设置（所有 LINEAR16 命令）影响的任何值之前，必须更新此指数字段。

表 22-8 展示了不同指数值的满量程范围和分辨率。例如，要以可能的最佳分辨率监控 12V 信号，首选指数为 -11。

表 22-8. 指数对电压范围和分辨率的影响

指数	范围 (V)		分辨率 (mV)
-7	0	255.99219	7.81250
-8	0	127.99609	3.90625
-9	0	63.99805	1.95313
-10	0	31.99902	0.97656
-11	0	15.99951	0.48828

表 22-8. 指数对电压范围和分辨率的影响 (续)

指数	范围 (V)		分辨率 (mV)
-12	0	7.99976	0.24414
-13	0	3.99988	0.12207
-14	0	1.99994	0.06104
-15	0	0.99997	0.03052

UCD91xxx 器件的 ADC 支持内部和外部电压基准。受监控的电压信号必须按比例缩放，以适应 ADC 窗口。调节后的标称电压值必须小于 2.5V，因此要考虑到过压情况。表 22-9 展示了适用于每个指数值和相应比例因子的标称电压范围。表 22-9 假设调节后标称电压设定点为 1.875V，是 2.5V ADC 满量程范围的 75%。比例因子由 VOUT_SCALE_MONITOR 命令进行编程。

表 22-9. 电压监控范围设置的示例

指数	高		低	
	电压	规模	电压	规模
-7	192	0.009766	96	0.019531
-8	96	0.019531	48	0.039063
-9	48	0.039063	24	0.078125
-10	24	0.078125	12	0.15625
-11	12	0.15625	6	0.3125
-12	6	0.3125	3	0.625
-13	3	0.625	1.5	1.25
-14	1.5	1.25	0.75	2.5
-15	0.75	2.5	0.375	5

22.9 (38h) IOUT_CAL_GAIN

此命令在 PMBus 规范第 14.8 节介绍，用于配置电流检测电路的增益。此命令的单位为毫欧 (mV/A)。

UCD91xxx 系列器件当前不支持此命令和常规电流检测。

22.10 (41h - 69h) xxx_FAULT_RESPONSE

以下命令被 FAULT_RESPONSES 命令替代 (请参阅节 26.25)。

表 22-10. 替代了故障响应命令

代码	命令
41h	VOUT_OV_FAULT_RESPONSE
45h	VOUT_UV_FAULT_RESPONSE
47h	IOUT_OC_FAULT_RESPONSE
4Ch	IOUT_UC_FAULT_RESPONSE
50h	OT_FAULT_RESPONSE
63h	TON_MAX_FAULT_RESPONSE

22.11 (62h) TON_MAX_FAULT_LIMIT

如 PMBus 规范第 16.3 节所述，此命令规定“命令设置器件在不达到输出欠压故障限制的情况下尝试向输出上电的时间上限 (以毫秒为单位)”。对于 UCD91xxx，此命令改为“设置器件在不达到 POWER_GOOD_ON 电压电平的情况下尝试向输出上电的时间上限 (以毫秒为单位)。”

没有为电源轨分配电压监控引脚时，序列发生器无法监控电源轨电压并确定其电源正常状态。因此，启用电源轨后，会在 TON_MAX_FAULT_LIMIT 定义的延迟时间之后为其提供电源正常状态。

22.12 (66h) TOFF_MAX_WARN_LIMIT

当没有为电源轨分配的电压监控引脚时，该时间用于确定在禁用后电源轨退出电源正常状态的时间。在这种情况下，将 TOFF_MAX_WARN_LIMIT 设置为 0x7FFF（无限制），禁用电源轨和退出电源正常状态之间不会有延迟。

22.13 (80h) STATUS_MFR_SPECIFIC

UCD91xxx 已将 STATUS_MFR_SPECIFIC 命令替换为 MFR_STATUS（请参阅[节 26.33](#)），以支持八个以上的状态位。

22.14 (8Dh) READ_TEMPERATURE_1

此只读命令返回 UCD91xxx 控制器内嵌入的传感器提供的温度。

22.15 (8Eh) READ_TEMPERATURE_2

此分页命令返回输出电源模块内或附近的外部温度传感器提供的温度。

备注

如果没有为电源轨分配温度监控引脚，则会将内部温度传感器用于该电源轨。请参阅 MONITOR_CONFIG 命令（[节 26.7](#)）。

如果用户写入此命令，则写入值将用作温度直到用户写入另一个值，而且与是否为电源轨分配了温度监控引脚无关。如果分配了温度监控引脚，在写入 READ_TEMPERATURE_2 后，在器件复位之前不会再次使用温度监控引脚。同样，如果未分配温度监控引脚，在写入 READ_TEMPERATURE_2 后，在器件复位之前不会再次使用内部温度传感器。

22.16 (ADh) IC_DEVICE_ID

此命令在 PMBUS1.2 中增补。它用于读取器件的器件型号。

22.17 (AEh) IC_DEVICE_REV

此命令在 PMBUS1.2 中增补。它用于读取器件的修订版。

23 输入和输出引脚配置

每个输入引脚 (GPI 等) 和输出引脚 (使能引脚、PWM 引脚、GPO 引脚等) 均使用两个字节进行配置。这些位定义如下：

位 10 设置引脚极性。一个引脚在其状态为有效电平时置为有效。

- 0：低电平有效
- 1：高电平有效

位 9:8 设置引脚的模式。

- 0：未使用
- 1：输入
- 2：主动驱动输出
- 3：开漏输出

位 7:0 选择所需 I/O 引脚的引脚 ID。引脚 ID 为数字 1 - 88，对应于给定引脚的主要功能。引脚 ID 0 未使用，通常表示引脚/选项未启用。

这些配置字节用于以下几条命令中，例如 SEQ_CONFIG、GPO_CONFIG 和 GPI_CONFIG 以及 FAULT_PIN_CONFIG。这些命令通常指定引脚的模式。例如，“使能”只能是输出。它无法配置为输入。但是，为了保持一致性，务必在使用之前描述的这种配置字节格式。

备注

引脚使用冲突

可能会发出存在冲突引脚选择的命令。UCD9xxxx 固件不会尝试检测和防止所有可能的无效设置组合。GUI 提供了一些附加有效性检查，但用户有责任摒除冲突的 GPIO 配置。

示例：如果一条命令用来为特定的 GPIO 或定序配置一个引脚，然后再次发出此命同一引脚未分配，则在控制器复位或下电上电之前，该引脚无法恢复为默认使用状态。

表 23-1. UCD91xxx 引脚 ID 定义

引脚 ID	UCD 91x 引脚功能	器件是否提供引脚	
		UCD91320	UCD91160
0	不适用	否	否
1	AMON1	是	是
2	AMON2	是	是
3	AMON3	是	是
4	AMON4	是	是
5	AMON5	是	是
6	AMON6	是	是
7	AMON7	是	是
8	AMON8	是	是
9	AMON9	是	是
10	AMON10	是	是
11	AMON11	是	是
12	AMON12	是	是
13	AMON13	是	是
14	AMON14	是	是
15	AMON15	是	是
16	AMON16	是	是
17	AMON17	是	否

表 23-1. UCD91xxx 引脚 ID 定义 (续)

引脚 ID	UCD 91x 引脚功能	器件是否提供引脚	
		UCD91320	UCD91160
18	AMON18	是	否
19	AMON19	是	否
20	AMON20	是	否
21	AMON21	是	否
22	AMON22	是	否
23	AMON23	是	否
24	AMON24	是	否
25	DMON1	是	否
26	DMON2	是	否
27	DMON3	是	否
28	DMON4	是	否
29	DMON5	是	否
30	DMON6	是	否
31	DMON7	是	否
32	DMON8	是	否
33	EN1	是	是
34	EN2	是	是
35	EN3	是	是
36	EN4	是	是
37	EN5	是	是
38	EN6	是	是
39	EN7	是	是
40	EN8	是	是
41	EN9	是	是
42	EN10	是	是
43	EN11	是	是
44	EN12	是	是
45	EN13	是	是
46	EN14	是	是
47	EN15	是	是
48	EN16	是	是
49	EN17	是	否
50	EN18	是	否
51	EN19	是	否
52	EN20	是	否
53	EN21	是	否
54	EN22	是	否
55	EN23	是	否
56	EN24	是	否
57	EN25	是	否
58	EN26	是	否
59	EN27	是	否
60	EN28	是	否
61	EN29	是	否
62	EN30	是	否
63	EN31	是	否

表 23-1. UCD91xxx 引脚 ID 定义 (续)

引脚 ID	UCD 91x 引脚功能	器件是否提供引脚	
		UCD91320	UCD91160
64	EN32	是	否
65	MAR1	是	是
66	MAR2	是	是
67	MAR3	是	是
68	MAR4	是	是
69	MAR5	是	是
70	MAR6	是	是
71	MAR7	是	是
72	MAR8	是	是
73	MAR9	是	否
74	MAR10	是	否
75	MAR11	是	否
76	MAR12	是	否
77	MAR13	是	否
78	MAR14	是	否
79	MAR15	是	否
80	MAR16	是	否
81	GPIO1	是	是
82	GPIO2	是	是
83	GPIO3	否	是
84	GPIO4	否	是
85	GPIO5	否	是
86	GPIO6	否	是
87	GPIO7	否	是
88	GPIO8	否	是

24 PWM 配置

器件数据表中标识的 MARx 引脚可以配置为 PWM 输出。这些引脚可用于对电源轨进行裕度调节或主动修整。表 24-1 展示了各种 MARx 引脚支持的输出频率范围以及 PWM 信号生成的源频率。查看器件数据表，以了解每个 UCD91x 器件提供的 MARx 引脚的数量。

表 24-1. PWM 支持的频率

MARx 引脚	FCLK 频率	输出频率范围
MARx (1-8)	80MHz	1kHz 至 1MHz
MARx (9-16)	40MHz	1kHz 至 1MHz

PWM_CONFIG 命令还允许设置 PWM_SELECT 命令选择的给定 PWM 的频率。但是，频率并不完全相互无关，并且在表 24-2 所示的 MARx 引脚组内，频率是相同的。这意味着将一个组中 1 个成员的频率设置为 0 也会禁用该组内的其他 PWM 输出。

表 24-2. PWM 使用说明

MARx 引脚组编号	MARx 引脚 (共享频率设置)
1	MAR1、MAR2、MAR3、MAR4
2	MAR5、MAR6
3	MAR7、MAR8
4	MAR9、MAR10
6	MAR11、MAR12
7	MAR13、MAR14、MAR15、MAR16

25 用户数据命令的实现详细信息

25.1 (B5h) FIRST_BLACK_BOX_FAULT_INFO (USER_DATA_05)

该块只读命令返回第一个故障的详细信息。

1. 采用 RTC 格式的时间戳 (请参阅 *RUN_TIME_CLOCK 命令格式*)
2. 故障是否特定于页面
3. 触发故障的页面或 GPI (适用时)
4. 故障类型
5. 电源轨的所有电源轨电源正常状态

清除日志： 向此命令写入全 0 值会清除黑盒日志条目 (第一个和最后一个)。清除黑盒日志将允许在常规日志和黑盒日志中重新记录相同的故障。

表 25-1. FIRST_BLACK_BOX_FAULT_INFO 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明	
0			CMD = B5	
1	0		BYTE_COUNT = 16	
2	1	0	位	说明
			0	分页或非分页故障
			1	故障日志有效 (0)/无效日志 (1)
			2	保留
7:3	fault_page_num			
3	2	1	秒和毫秒 (低字节)	
4	3	2	秒和毫秒 (高字节)	
5	4	3	日、小时和分钟 (低字节)	
6	5	4	日天、小时和分钟 (高字节)	
7	6	5	年和月 (低字节)	
8	7	6	年和月 (高字节)	
9	8	7	故障值 (低字节) 请参阅表 26-32	
10	9	8	故障值 (中间低字节) 请参阅表 26-32	
11	10	9	故障值 (中间高字节) 请参阅表 26-32	
12	11	10	故障值 (高字节) 请参阅表 26-32	
13	12	11	位	说明
			0:4	故障类型 (请参阅表 26-32
			5	故障日志已满 (0)/未满 (1)
6:7	保留			
14	13	12	电源轨电源正常屏蔽 (低字节)	
15	14	13	电源轨电源正常屏蔽	
16	15	14	电源轨电源正常屏蔽	
17	16	15	电源轨电源正常屏蔽 (高字节)	

25.2 (B6h) LAST_BLACK_BOX_FAULT_INFO 命令格式 (USER_DATA_06)

该块只读命令返回器件断电时注销的故障的黑盒故障日志。格式与表 25-1 中所示的格式相同。

25.3 (B8h) RAIL_PROFILE (USER_DATA_08)

此读/写块分页命令选择将要随后用于以下命令的电源轨特性曲线的索引：VOUT_COMMAND、VOUT_OV_FAULT_LIMIT、VOUT_OV_WARNING_LIMIT、VOUT_MARGIN_HIGH、POWER_GOOD_ON、VOUT_MARGIN_LOW、POWER_GOOD_OFF、VOUT_UV_WARNING_LIMIT 和 VOUT_UV_FAULT_LIMIT 命令。必须指定 GPI，以便根据其置为无效/置为有效的状态来切换特性曲线。

表 25-2. RAIL_PROFILE 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
0			CMD = B8
1	0		BYTE_COUNT = 2
2	1	0	数值特性曲线
3	2	1	特性曲线索引 位描述： [7:4] • 这些位是只读的。它们返回器件使用的当前特性曲线索引。 [3:0] • 特性曲线索引

25.3.1 数值特性曲线

在 RAIL_PROFILE 写入命令中，数值特性曲线与特性曲线索引相结合，用于执行各种操作。

表 25-3. 数值特性曲线

数值特性曲线	说明	特性曲线索引
0x00	访问特性曲线	要访问的特性曲线索引
0x01 - 0x04	给定电源轨的特性曲线总数	配置要访问的索引。它应小于特性曲线总数。
0x05 - 0xFF	无效命令	无效命令

数值特性曲线设置为 0 时，特性曲线索引参数用于设置供主机访问的正确特性曲线索引。当特性曲线索引大于或等于给定电源轨的可用特性曲线总数时，器件将为此命令设置无效数据。

数值特性曲线设置为 1-4 时，器件应根据现有数值特性曲线和收到的数值特性曲线，正确添加或删除特性曲线。如果新的数值特性曲线大于现有数值特性曲线，器件应添加额外的新特性曲线；否则器件应删除额外的特性曲线。如果要删除的特性曲线与正在使用的特性曲线相同，器件将为该命令设置无效数据。与此命令关联的特性曲线索引指示要从主机访问的特性曲线索引。如果与数值特性曲线关联的特性曲线索引大于或等于数值特性曲线，器件将为此命令设置无效数据。

如果数值特性曲线大于 4，器件将为此命令设置无效数据。

导入新工程时，应用程序必须使用给定电源轨的正确特性曲线编号来调用此命令。否则，器件将使用现有电源轨中的特性曲线信息进行处理。

在 RAIL_PROFILE 读取命令中，数值特性曲线返回给定电源轨的特性曲线总数。

25.3.2 特性曲线索引

每个电源轨（GPI 电源轨和无电压监控的电源轨除外）应至少具有一条特性曲线，并且最多可具有 4 条特性曲线，总共有 50 个共享特性曲线池。分配所有 50 条特性曲线后，不应添加新的特性曲线，否则器件将设置无效数据。特性曲线索引的范围应为 0 至 3。

25.4 (B9h) RAIL_STATE (USER_DATA_09)

此读取块分页命令返回当前、过去和挂起的页面状态。

表 25-4. RAIL_STATE 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
0			CMD = B9
1	0		BYTE_COUNT = 1
2	1	0	当前电源轨状态 (请参阅表 25-5)
3	2	1	先前电源轨状态
4	3	2	挂起电源轨状态

先前电源轨状态是当前电源轨状态之前的状态。挂起电源轨状态是发出针对此页面的 **DEBUG_CONTINUE** 命令时电源轨将进入的页面。它仅在电源轨处于断点状态时与当前电源轨状态不同。

表 25-5. 电源轨状态

电源轨状态	值	说明
空闲	1	不满足开启条件, 或者电源轨由于故障而关闭, 或者电源轨在等待重新定序
SEQ_ON	2	等待满足依赖条件, 以便将使能信号置为有效
START_DELAY	3	将使能信号置为有效的 TON_DELAY
RAMP_UP	4	使能信号置为有效, 电源轨将要处于电源正常状态
调节	5	当使能信号置为有效且监控电压高于 POWER_GOOD 后, 电源轨保持在此状态, 只要未执行故障操作, 即使电压随后降至 POWER_GOOD 以下也是如此。
SEQ_OFF	6	等待满足依赖条件, 以便将使能信号置为无效
STOP_DELAY	7	将使能信号置为无效的 TOFF_DELAY
RAMP_DOWN	8	使能信号已置为无效, 电源轨正在斜降。仅当 TOFF_MAX_WARN_LIMIT 未设置为无限制时, 此状态才可用; 或者如果关闭由故障操作触发, 电源轨不得处于故障重试状态以显示斜降状态。否则, 将显示空闲状态。
断点	9	电源轨已经达到 SET_BREAKPOINTS 命令中所述的断点。它将保持在断点状态处, 直到接收到 DEBUG_CONTINUE 命令, 此时电源轨将进入挂起状态。

26 制造商特定命令的实现详细信息

26.1 制造商特定的命令声明

以下各小节中的表格基于 UCD91xxx 超集器件，并做出以下假设：

- 器件支持多达 32 个电源轨。
- 器件支持多达 32 个 GPI。
- 器件支持多达 16 个 LGPO。

对于给定器件，情况可能并非如此。对于支持少于 32 个 GPI 或 32 个电压轨的器件，应按照以下方式对上述信息进行解释：

- 写入操作期间，编码无关信息的字节（即，对于有 16 个电压轨的器件，表示电源轨 16-31 的字节）被视为无关紧要。
- 读取操作期间，会为这些固定字节返回值 0。

有关支持的确切功能的更多详细信息，请参阅器件特定的数据表。

26.2 (D0h) FAULT_PIN_CONFIG (MFR_SPECIFIC_00)

此读取/写入块命令用于为同步级联操作配置故障引脚功能。不同 UCD91xxx 器件的故障引脚可以连接到同一故障总线。故障总线通过一个电阻器上拉至 3.3V。当一个故障引脚将总线拉至低电平时，总线上的其他故障引脚会检测到相同的故障事件。因此，几个级联 UCD91xxx 器件会同步响应故障事件。以下事件可能会影响故障引脚：RESEQUENCE_ERROR、SEQ_ON_TIMEOUT、SEQ_OFF_TIMEOUT、OT_FAULT、IOUT_UC_FAULT、IOUT_OC_FAULT、VOUT_UV_FAULT、VOUT_OV_FAULT 和 TON_MAX_FAULT。

对于 SEQ_ON_TIMEOUT、SEQ_OFF_TIMEOUT 和 TON_MAX_FAULT 条件，故障引脚将置为有效，直到电源轨得到指示关闭并再次开启。对于其他故障类型，故障引脚将置为有效直到条件被清除。

故障引脚配置包括三条命令：此命令 (D0h)、(F9h) GPI_CONFIG (MFR_SPECIFIC_41) 和 (F4h) GPI_FAULT_RESPONSES (MFR_SPECIFIC_36)。此命令 (D0h) 将故障引脚配置为受故障影响的输出。故障引脚的状态由所选电源轨的任何故障决定。(F9h) GPI_CONFIG (MFR_SPECIFIC_41) 命令将故障引脚配置为故障输入，其中设置了故障使能标志（请参阅节 26.39.2）。(F4h) GPI_FAULT_RESPONSES (MFR_SPECIFIC_36) 命令配置故障响应。这样，当故障总线出现故障时，故障引脚充当 GPI 并触发 GPI 故障响应；当器件内部出现故障时，故障引脚会拉低故障总线，以此通知同一总线上的其他故障引脚。使用 TI Sequencer Studio 配置器件时，GUI 会自动发出前三条命令来配置故障引脚。在为双向故障设置故障引脚时，FAULT_PIN_CONFIG 和 GPI_CONFIG 的引脚配置应设置为匹配。

表 26-1. FAULT_PIN_CONFIG 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
0			CMD = D0
1	0		BYTE_COUNT = 41
2	1	0	故障引脚 0 的页面屏蔽 (字节 0 - LSB)
3	2	1	故障引脚 0 的页面屏蔽 (字节 1)
4	3	2	故障引脚 0 的页面屏蔽 (字节 2)
5	4	3	故障引脚 0 的页面屏蔽 (字节 3 - MSB)
6	5	4	故障引脚 1 的页面屏蔽 (字节 0 - LSB)
7	6	5	故障引脚 1 的页面屏蔽 (字节 1)
8	7	6	故障引脚 1 的页面屏蔽 (字节 2)
9	8	7	故障引脚 1 的页面屏蔽 (字节 3 - MSB)
10	9	8	故障引脚 2 的页面屏蔽 (字节 0 - LSB)
11	10	9	故障引脚 2 的页面屏蔽 (字节 1)
12	11	10	故障引脚 2 的页面屏蔽 (字节 2)
13	12	11	故障引脚 2 的页面屏蔽 (字节 3 - MSB)
14	13	12	故障引脚 3 的页面屏蔽 (字节 0 - LSB)

表 26-1. FAULT_PIN_CONFIG 命令格式 (续)

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
15	14	13	故障引脚 3 的页面屏蔽 (字节 1)
16	15	14	故障引脚 3 的页面屏蔽 (字节 2)
17	16	15	故障引脚 3 的页面屏蔽 (字节 3 - MSB)
18	17	16	故障引脚 1 的引脚配置 (引脚 ID)
19	18	17	故障引脚 1 的引脚配置 (其他)
20	19	18	故障引脚 2 的引脚配置
21	20	19	故障引脚 2 的引脚配置
22	21	20	故障引脚的引脚配置 3
23	22	21	故障引脚的引脚配置 3
24	23	22	故障引脚的引脚配置 4
25	24	23	故障引脚的引脚配置 4
26	25	24	故障引脚 1 的 GPI 屏蔽 (字节 0 - LSB)
27	26	25	故障引脚 1 的 GPI 屏蔽
28	27	26	故障引脚 1 的 GPI 屏蔽
29	28	27	故障引脚 1 的 GPI 屏蔽 (字节 3 - MSB)
30	29	28	故障引脚 2 的 GPI 屏蔽 (字节 0 - LSB)
31	30	29	故障引脚 2 的 GPI 屏蔽
32	31	30	故障引脚 2 的 GPI 屏蔽
33	32	31	故障引脚 2 的 GPI 屏蔽 (字节 3 - MSB)
34	33	32	故障引脚 3 的 GPI 屏蔽 (字节 0 - LSB)
35	34	33	故障引脚 3 的 GPI 屏蔽
36	35	34	故障引脚 3 的 GPI 屏蔽
37	36	35	故障引脚 3 的 GPI 屏蔽 (字节 3 - MSB)
38	37	36	故障引脚 4 的 GPI 屏蔽 (字节 0 - LSB)
39	38	37	故障引脚 4 的 GPI 屏蔽
40	39	38	故障引脚 4 的 GPI 屏蔽
41	40	39	故障引脚 4 的 GPI 屏蔽 (字节 3 - MSB)
42	41	40	其他 屏蔽

26.2.1 故障引脚配置

UCD91xxx 系列器件最多支持 4 个故障引脚。有关如何配置引脚的更多详细信息，请参阅“输入和输出引脚配置”部分。

26.2.2 页面屏蔽

页面屏蔽由四个配置字节组成。对于支持少于 32 个电源轨的器件，应将字节视为在写入命令期间不用考虑。对于读取命令，字节将返回 0。这些位定义如下：

位	31	...	21	20	19	18	17	16
用途	PAGE31	...	PAGE21	PAGE20	PAGE19	PAGE18	PAGE17	PAGE16
位	15	14	13	12	11	10	9	8
用途	PAGE15	PAGE14	PAGE13	PAGE12	PAGE11	PAGE10	PAGE9	PAGE8
位	7	6	5	4	3	2	1	0
用途	PAGE7	PAGE6	PAGE5	PAGE4	PAGE3	PAGE2	PAGE1	PAGE0

如果设置了位，则相应页面（电源轨）的任何故障都会将故障引脚置为有效。如果位被清零，则相应页面（电源轨）的故障对故障引脚输出没有影响。

26.2.3 GPI 屏蔽

GPI 屏蔽由四个配置字节组成。对于支持少于 32 个 GPI 的器件，应将字节视为在写入命令期间不用考虑。对于读取命令，字节将返回 0。这些位定义如下：

表 26-2. GPI 屏蔽

位	31	...	5	4	3	2	1	0
用途	GPI 32	...	GPI 6	GPI 5	GPI 4	GPI 3	GPI 2	GPI 1

如果设置了位，则相应 GPI 的任何故障都会将故障引脚置为有效。如果位被清零，则相应 GPI 的故障对故障引脚输出没有影响。

26.2.4 其他屏蔽

此屏蔽确定故障引脚与系统看门狗故障以及重新定序错误之间的联系（请参阅节 26.5 中的 SYSTEM_WATCHDOG_CONFIG 命令）。如果设置了位，则启用相应的联系，这意味着故障或错误会将故障引脚置为有效。

位	7	6	5	4	3	2	1	0
用途	重新定序错误	重新定序错误	重新定序错误	重新定序错误	系统看门狗	系统看门狗	系统看门狗	系统看门狗
	故障引脚 3	故障引脚 2	故障引脚 1	故障引脚 0	故障引脚 3	故障引脚 2	故障引脚 1	故障引脚 0

26.3 (D1h) VOUT_CAL_MONITOR (MFR_SPECIFIC_01)

此读取/写入命令用于将固定失调电压应用于器件测量并由 READ_VOUT 命令报告的输出电压。PMBus 器件制造商通常在出厂时使用它来校准器件。

VOUT_CAL_MONITOR 有两个格式为二进制补码二进制整数的数据字节。此命令的效果由 VOUT_MODE 命令的设置决定。

26.4 (D2h) SYSTEM_RESET_CONFIG (MFR_SPECIFIC_02)

此读取/写入块命令可用于配置系统复位功能。系统复位功能允许器件向系统提供外部复位信号。此信号可以基于时间、所选电源轨的电源正常状态、所选 GPI 引脚的状态或这些因素的组合。这样可确保关键器件（例如 CPU）保持在复位状态，直到其他相关器件（例如外设）完全通电。系统看门狗超时也可以生成复位脉冲。

表 26-3. SYSTEM_RESET_CONFIG 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷 索引	说明
0			CMD = D2
1	0		BYTE_COUNT = 15
2	1	0	页面标志 - 字节 0 (LSB)
3	2	1	页面标志 - 字节 1
4	3	2	页面标志 - 字节 2
5	4	3	页面标志 - 字节 3 (MSB)
6	5	4	GPI 标志 - 字节 0 (LSB)
7	6	5	GPI 标志 - 字节 1
8	7	6	GPI 标志 - 字节 2
9	8	7	GPI 标志 - 字节 3 (MSB)
10	9	8	延迟时间
11	10	9	脉冲时间

表 26-3. SYSTEM_RESET_CONFIG 命令格式 (续)

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷 索引	说明	
12	11	10	位	说明
			7:3	GPI 编号
			2	电源正常状态时置为无效
			1	非电源正常状态时置为有效
13	12	11	GPI 跟踪	
			位	说明
			7	启用
			6:5	保留
14	13	12	看门狗超时置为有效使用 GPI 跟踪释放延迟	
			3:0	GPI 跟踪释放延迟 (100µs)
15	14	13	GPI 跟踪释放延迟 (1ms)	
16	15	14	复位引脚配置	
			[7:3] 保留	
			[2] 复位引脚的极性	
			[1:0] 复位引脚的引脚模式	

26.4.1 GPI 标志

选择“电源正常状态时置为无效”时，在这些位标识的 GPI 引脚达到置为有效状态且延迟时间过后，复位引脚会置为无效。（请参阅 [GPI_CONFIG](#)）

选择“非电源正常状态时置为有效”时，只要这些位标识的任何 GPI 引脚退出置为有效状态，复位引脚会立即置为有效。

位	31	...	5	4	3	2	1	0
用途	GPI 31	...	GPI 5	GPI 4	GPI 3	GPI 2	GPI 1	GPI 0

26.4.2 页面标志

选择“非电源正常状态时置为有效”时，只要这些位标识的任何页面退出电源正常状态，复位引脚会立即置为有效。

选择“电源正常状态时置为无效”时，在这些位标识的页面达到电源正常状态且延迟时间过后，复位引脚会将置为无效。

位	31	...	13	12	11	10	9	8
用途	PAGE31	...	PAGE13	PAGE12	PAGE11	PAGE10	PAGE9	PAGE8

位	7	6	5	4	3	2	1	0
用途	PAGE7	PAGE6	PAGE5	PAGE4	PAGE3	PAGE2	PAGE1	PAGE0

26.4.3 电源正常状态时置为无效

设置此位时，只要页面标志标识的页面达到电源正常状态、GPI 标志标识的 GPI 引脚置为有效，然后延迟时间标识的时间结束，复位引脚就会置为无效。

26.4.4 非电源正常状态时置为有效

设置此位时，只要页面标志中标识的任何页面退出电源正常状态，或者 GPI 标志标识的任何 GPI 引脚置为无效，复位引脚会立即置为有效。每当复位引脚由于“非电源正常状态时置为有效”功能而置为有效时，器件都会尝试根据延迟时间或者所选电源轨的电源正常状态、所选 GPI 的置为有效状态和延迟时间的组合将复位引脚置为无效。如果这是系统复位功能的唯一启用的特性，则延迟时间必须为非零值。

26.4.5 看门狗超时时置为有效

设置此位时，系统看门狗超时会使复位引脚置为有效并持续延迟时间确定的时间。

如果设置了“看门狗超时置为有效使用 GPI 跟踪释放延迟”位，则使用 GPI 跟踪释放延迟而不是延迟时间。

26.4.6 延迟时间

这些位定义复位引脚置为有效的时长。此字节的格式符合第 2.5 节中定义的 8 位时间编码。

26.4.7 脉冲时间

此字节为非零值时，会启用脉冲功能，并且此字节定义在延迟时间过后将复位引脚置为无效的时长。此字节的格式符合第 2.5 节中定义的 8 位时间编码。

26.4.8 GPI 跟踪

此功能可使特定 GPI 引脚更精确地影响系统复位引脚。（GPI 引脚可以是来自另一器件或按钮的复位信号。）每当 GPI 置为无效时，系统复位都会立即置为有效。当 GPI 置为有效时，系统复位会在 GPI 跟踪释放延迟时间内保持置为有效。在该延迟时间之后，系统复位会置为无效。系统复位引脚跟踪 GPI 的反向信号，从而允许 GPI 与“电源正常时置为无效”功能一同使用。

表 26-4. GPI 跟踪配置

配置参数	说明
启用	此位启用 GPI 跟踪功能。
GPI 编号	这些位标识要跟踪的其中一个 GPI 引脚 (请参阅 GPI_CONFIG) 。
GPI 跟踪释放延迟 (100µs)	这些位乘以 100µs, 并用作 GPI 跟踪延迟的更高精度部分。
GPI 跟踪释放延迟 (1ms)	此字节的格式符合第 2.5 节中定义的 8 位时间编码。

总 GPI 跟踪释放延迟时间是 100µs 分辨率延迟时间和 1ms 分辨率延迟时间之和。

26.4.9 复位引脚配置

此字节配置复位引脚 (请参阅节 23) 。

26.5 (D3h) SYSTEM_WATCHDOG_CONFIG (MFR_SPECIFIC_03)

此读取/写入块通用命令用于配置系统看门狗功能。该函数使超时计数器保持运行。当切换看门狗输入 (WDI) 引脚或写入 SYSTEM_WATCHDOG_RESET 命令时, 该计数器会复位。如果计数器未在复位周期字节确定的时间段内定期复位, 则看门狗输出 (WDO) 引脚会置为有效。输出引脚保持置为有效状态, 直到切换看门狗输入引脚或写入 SYSTEM_WATCHDOG_RESET 命令。

表 26-5. SYSTEM_WATCHDOG_CONFIG 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明												
0			CMD = D3												
1	0		BYTE_COUNT = 6												
2	1	0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>位</th> <th>说明</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>启用</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>观察系统复位引脚</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>保留</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>禁用直至系统复位释放</td> </tr> <tr> <td>3:0</td> <td>开始时间</td> </tr> </tbody> </table>	位	说明	7	启用	6	观察系统复位引脚	5	保留	4	禁用直至系统复位释放	3:0	开始时间
位	说明														
7	启用														
6	观察系统复位引脚														
5	保留														
4	禁用直至系统复位释放														
3:0	开始时间														
3	2	1	输入引脚 (WDI) 配置 (引脚 ID)												
4	3	2	输入引脚 (WDI) 配置 (其他)												
5	4	3	复位周期												
6	5	4	输出引脚 (WDO) 配置 (引脚 ID)												
7	6	5	输出引脚 (WDO) 配置 (其他)												

26.5.1 启用

该位启用系统看门狗功能。

26.5.2 观察复位引脚

设置此位时, 系统复位引脚 (请参阅节 26.4 SYSTEM_RESET_CONFIG) 会影响系统看门狗超时行为。当系统复位引脚置为有效后时, 看门狗超时不会再发生, 直到复位置为无效为止。复位置为无效后, 系统看门狗功能会等待启动时间, 然后再次监控输入引脚。

26.5.3 禁用直至系统复位释放

设置此位时, 系统看门狗复位功能暂时禁用, 直到系统复位引脚置为无效。仅在器件退出复位状态或写入系统看门狗配置命令时, 这种暂时禁用状态适用。

26.5.4 开始时间

这些位标识监控测输入引脚之前的延迟时间。

编码	开始时间 (秒)
0000	0
0001	0.1
0010	0.2
0011	0.4
0100	0.8
0101	1.6
0110	3.2
0111	6.4
1000	12.8
1001	25.6
1010	51.2
1011	102.4
1100	204.8
1101	409.6
1110	819.2
1111	1638.4

26.5.5 输入引脚 (WDI) 配置

这些字节标识输入引脚。这些字节的格式在节 23 中定义。

26.5.6 复位周期

系统看门狗超时计数器必须在此字节定义的时间周期内复位，否则输出引脚会置为有效。以下任一操作都会重置计数器：

1. 切换看门狗输入引脚 (WDI)。
2. 写入 SYSTEM_WATCHDOG_RESET 命令。

此字节的格式如表 26-6 所示。位 6 和 7 是乘数字段的索引，位 0 至 5 是尾数 (0x00 至 0x3F)。将这两者相乘可以得出时间。无论乘数值如何，尾数 0 都会导致时间为 0。

表 26-6. 复位周期配置

乘数索引	乘数器 (ms)	产生的范围
b' 00	1	0 至 63ms
b' 01	16	16 至 1008ms
b' 10	256	256ms 至 16.128s
b' 11	4096	4096ms 至 258048ms

备注

复位周期设置为 0 时，系统看门狗不会按预期工作。

26.5.7 输出引脚 (WDO) 配置

这将配置输出引脚 (请参阅节 23)。如果系统看门狗的超时计数器在复位周期字节定义的时间段内未接收到复位信号或命令，则会将此引脚置为有效。

26.6 (D4h) SYSTEM_WATCHDOG_RESET (MFR_SPECIFIC_04)

此只写发送字节命令可用于复位系统看门狗的超时计数器。这相当于切换系统看门狗输入引脚 (WDI)。

26.7 (D5h) MONITOR_CONFIG (MFR_SPECIFIC_05)

表 26-7. MONITOR_CONFIG 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷 索引	说明
0			CMD = D5
1	0		BYTE_COUNT = N
2	1	0	监控器 1 类型和页面
3	2	1	监控器 2 类型和页面
4	3	2	监控器 3 类型和页面
↓	↓	↓	↓
N+1	N	N	监控器 N 类型和页面

MONITOR_CONFIG 写入命令可在一条命令中配置所有监控引脚。此命令中的字节位置确定要配置哪个监控引脚。写入命令的大小是可变的。最大大小由给定器件支持的监控引脚数量决定 (请参阅)。如果命令大小超过此数值, UCD91xxx 将拒绝该命令。

监控引脚可以为表 26-8 中列出的各种类型监控器之一单独配置。命令格式在 MONITOR_CONFIG 命令格式中介绍。监控器类型和页面字节格式如#none# 中所示。

MONITOR_CONFIG 读取命令始终返回给定器件中所有监控器的信息。

表 26-8. 监控器类型

监控器类型	编码
无监视器	0
模拟电压监控测器	1
温度	2
电流 (UCD91x 不支持 - 保留供将来使用)	3
电压比较器流 (UCD91x 不支持 - 保留供将来使用)	4
输入电压 (UCD91x 不支持 - 保留供将来使用)	5
数字电压监控测器	6

表 26-9. 监控器类型和页面字节

位	7:5	4:0
定义	监控器类型 (请参阅 监控器类型)	监控页面编号

如果支持, 可以使用针对每个监控器类型的相应读取命令 (READ_VOUT、READ_TEMPERATURE_2、READ_IOUT) 来读取监控引脚的状态。

如果要在数字模式下使用监控引脚 (仅限高电平/低电行为), 应使用数字电压监控器类型。对于数字监控器, READ_VOUT 返回的值将是 0 或 1, 而不是 LINEAR16 电压值。如果使用仅数字监控引脚, 并且模拟电压监控器类型按照配置被写入, 则该引脚将默认为仅数字监控器行为。

监控引脚的数量因器件而异。表 26-10 显示了每种器件的监控引脚配备情况。

表 26-10. 监控引脚定义

监控器 ID (MONx 编号)	监控器类型	监控引脚 ID	
		UCD91160	UCD91320
1	模拟或数字	1	1
2	模拟或数字	2	2
3	模拟或数字	3	3
4	模拟或数字	4	4
5	模拟或数字	5	5
6	模拟或数字	6	6
7	模拟或数字	7	7
8	模拟或数字	8	8
9	模拟或数字	9	9
10	模拟或数字	10	10
11	模拟或数字	11	11
12	模拟或数字	12	12
13	模拟或数字	13	13
14	模拟或数字	14	14
15	模拟或数字	15	15
16	模拟或数字	16	16
17	模拟或数字	不适用	17
18	模拟或数字	不适用	18
19	模拟或数字	不适用	19
20	模拟或数字	不适用	20
21	模拟或数字	不适用	21
22	模拟或数字	不适用	22
23	模拟或数字	不适用	23
24	模拟或数字	不适用	24
25	仅限数字	不适用	25
26	仅限数字	不适用	26
27	仅限数字	不适用	27
28	仅限数字	不适用	28
29	仅限数字	不适用	29
30	仅限数字	不适用	30
31	仅限数字	不适用	31
32	仅限数字	不适用	32

26.8 (D6h) NUM_PAGES (MFR_SPECIFIC_06)

此只读字节命令返回活动页面的编号。此值由 MONITOR_CONFIG 和 SEQ_CONFIG 命令决定 (请参见节 26.7 和节 26.36)。它是从以下这两个评估得出的较高页面编号数量：

- 分配了使能引脚的最大编号页面。(SEQ_CONFIG)
- 分配了监控引脚的最大编号页面。(MONITOR_CONFIG)

26.9 (D7h) RUN_TIME_CLOCK (MFR_SPECIFIC_07)

此命令可返回运行时钟值。该值采用实时时间格式 (年、月、日、小时、分钟、秒、毫秒) 和度量单位。也可以写入运行时钟。这允许主机定期校正时钟。还允许将时钟初始化为以年为单位的实际绝对时间 (例如 2025 年 3 月 23 日)。用户必须将实际时间值转换为表 26-11 中显示的格式。

下面是运行时钟的三种使用场景：

- 上电以后的时间：运行时钟从其默认时间 (每次器件上电时) 启动。
- 本地时间：每次器件上电时，外部处理器都会将运行时钟设置为真实时间。
- 器件复位后，会使用最新的故障日志将运行时钟的时间复位为最新值。如果没有比默认时间更近的故障日志，则器件会从默认时间启动。

运行时钟值用于为记录的任何故障添加时间戳 (请参阅节 26.28)。

表 26-11. RUN_TIME_CLOCK 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
0			CMD = D7
1	0		BYTE_COUNT = 8
2	1	0	秒和毫秒 (低字节)
3	2	1	秒和毫秒 (高字节)
4	3	2	日、小时和分钟 (低字节)
5	4	3	日天、小时和分钟 (高字节)
6	5	4	年和月 (低字节)
7	6	5	年和月 (高字节)
8	7	6	保留
9	8	7	保留

运行时钟的时间格式为 3 个 2 字节值，其中包含采用日历模式格式的当前器件时间。表 26-12、表 26-13 和表 26-14 包含每个 2 字节值的格式。

表 26-12. 秒和毫秒格式

位	字段	说明
15:10	秒	RTC 中的秒值 (0 至 59)
9:0	毫秒	RTC 中的毫秒值 (0 至 999)

表 26-13. 日、小时和分钟格式

位	字段	说明
15:11	日天	RTC 中的天值 (1 至 31)
10:6	小时	RTC 中的小时值 (0-23)
5:0	分钟	RTC 中分钟值 (0 至 59)

表 26-14. 年和月格式

位	字段	说明
15:4	年份	RTC 中的年值 (0-4096)
3:0	月份	RTC 中的月份值 (1-12)

26.10 (D8h) RUN_TIME_CLOCK_TRIM (MFR_SPECIFIC_08)

此命令接受两个 Linear 11 数据值，总共 4 个字节。这些值表示要应用于 RUN_TIME_CLOCK 值的 RUN_TIME_CLOCK 偏移校准 (以 PPM 为单位) 和温度校准值 (以 PPM/°C 为单位)。这些值中的每一个值都不能超过 +/-127。如果写入较大的值，该值将保留在器件存储器中并在回读时提供并应用，但值不会超过 +/-127PPM (或 PPM/°C)。

使用 UCD91xxx 器件内的内部温度传感器执行温度校准并以 25°C 为基准应用。总的来说，应用的校准是当前器件温度下的偏移校准和温度校准之和，幅度限制为 +/-240ppm。

26.11 (DAh) USER_RAM_00 (MFR_SPECIFIC_10)

此读取/写入字节命令允许用户在器件的 RAM 位置读取/写入一个字节值。器件复位时，此 RAM 值将重置为已知值 (0)。通过监控该值，用户能够判断器件在运行期间是否已复位。

请注意，发出 STORE_DEFAULT_ALL 命令时，此参数不会存储到非易失性默认存储存储器中。

26.12 (DBh) SOFT_RESET (MFR_SPECIFIC_11)

此只写发送字节命令会重新启动控制器固件。在固件重新启动之前，所有有源电压输出都会关闭。

26.13 (DCh) RESET_COUNT (MFR_SPECIFIC_12)

此读取/写入字节命令让用户可以跟踪器件复位的次数。在尚未配置的器件中，此值为零，即不会跟踪复位次数。要启用此功能，必须将该值更改为非零值，并且必须复位器件。之后，每次器件重新启动（复位或上电）并完成启动序列时，此值都会递增。

如果欠压模式功能未启用（请参阅节 26.42 MISC_CONFIG 中的欠压启用模式）而此功能启用，则每次重新启动器件时都会向数据闪存写入。如果启用了欠压功能，这会减少写入闪存的次数。

备注

此为读取/写入字节命令。如果复位计数超过最大值 (255)，则该计数设置为零并从零开始再次计数。这种计数此翻转发生 255 次。当计数在第 256 次翻转时，计数一直保持为零并且此功能禁用。

26.14 (DDh) PIN_SELECTED_RAIL_STATES (MFR_SPECIFIC_13)

此读取字节块命令允许配置多达 3 个 GPI 引脚，以便控制所有电源轨的状态（最长达 8 个系统状态）。例如，此功能可用于将系统置于低功耗模式。在每个系统状态下，用户定义哪些电源轨开启，哪些电源轨关闭。如果 GPI 上出现新状态，并且需要电源轨来更改状态，则可根据其启动或关断依赖条件来完成更改 - 所有更改都通过完整定序功能来完成。

备注

Pin Selected Rail States 功能是通过修改 OPERATION 命令来实现的。因此，为了使用此功能控制电源轨状态，必须在 ON_OFF_CONFIG 中将相关电源轨配置为使用 OPERATION 命令。

每当器件复位时，如果该功能已启用，则会对这些引脚进行采样并用于更新系统状态。

表 26-15. 对 OPERATION 命令的更改

新状态	软关闭使能	OPERATION 命令
开启	不适用	0x80
关闭	0	0x00
关闭	1	0x40

使用 GPI_CONFIG 命令配置的前 3 个引脚（请参阅节 26.39）可用于选择 8 种系统状态中的 1 种。

表 26-16. 系统状态的 GPI 选择

GPI 2 状态	GPI 1 状态	GPI 0 状态	系统状态
未置为有效	未置为有效	未置为有效	0
未置为有效	未置为有效	置为有效	1
未置为有效	置为有效	未置为有效	2
未置为有效	置为有效	置为有效	3
置为有效	未置为有效	未置为有效	4
置为有效	未置为有效	置为有效	5
置为有效	置为有效	未置为有效	6
置为有效	置为有效	置为有效	7

备注

选择新的系统状态时，GPI 引脚状态的更改时间不得超过 1 微秒。

表 26-17. PIN_SELECTED_RAIL_STATES 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷 索引	说明
0			CMD = DD
1	0		BYTE_COUNT = 34
2	1	0	系统状态使能
3	2	1	软关闭使能
4	3	2	系统状态 0 (字节 0 - LSB)
5	4	3	系统状态 0 (字节 1)
6	5	4	系统状态 0 (字节 2)
7	6	5	系统状态 0 (字节 3 - MSB)
8	7	6	系统状态 1 (字节 0 - LSB)
9	8	7	系统状态 1 (字节 1)
10	9	8	系统状态 1 (字节 2)
11	10	9	系统状态 1 (字节 3 - MSB)
12	11	10	系统状态 2 (字节 0 - LSB)
13	1 2	11	系统状态 2 (字节 1)
14	1 3	12	系统状态 2 (字节 2)
15	14	13	系统状态 2 (字节 3 - MSB)
16	1 5	14	系统状态 3 (字节 0 - LSB)
17	1 6	15	系统状态 3 (字节 1)
18	1 7	16	系统状态 3 (字节 2)
19	18	17	系统状态 3 (字节 3 - MSB)
20	19	18	系统状态 4 (字节 0 - LSB)
21	20	19	系统状态 4 (字节 1)
22	21	20	系统状态 4 (字节 2)
23	22	21	系统状态 4 (字节 3 - MSB)
24	23	22	系统状态 5 (字节 0 - LSB)
25	24	23	系统状态 5 (字节 1)
26	25	24	系统状态 5 (字节 2)
27	26	25	系统状态 5 (字节 3 - MSB)
28	2 7	26	系统状态 6 (字节 0 - LSB)
29	28	27	系统状态 6 (字节 1)
30	29	28	系统状态 6 (字节 2)
31	30	29	系统状态 6 (字节 3 - MSB)
32	31	30	系统状态 7 (字节 0 - LSB)
33	32	31	系统状态 7 (字节 1)
34	33	32	系统状态 7 (字节 2)

表 26-17. PIN_SELECTED_RAIL_STATES 命令格式 (续)

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷 索引	说明
35	34	33	系统状态 7 (字节 3 - MSB)

26.14.1 系统状态使能

系统状态字节中的每个位都用于使能或禁用 8 种系统状态之一。

位	7	6	5	4	3	2	1	0
用途	系统状态 7 使能	系统状态 6 使能	系统状态 5 使能	系统状态 4 使能	系统状态 3 使能	系统状态 2 使能	系统状态 1 使能	系统状态 0 使能

26.14.2 软关闭使能

软关闭使能字节中的每个位决定如何关闭 (1 - 软关闭或 0 - 立即关闭) 相关系统状态命令关闭的任何电源轨。

位	7	6	5	4	3	2	1	0
用途	系统状态 7 软关闭 使能	系统状态 6 软关闭 使能	系统状态 5 软关闭 使能	系统状态 4 软关闭 使能	系统状态 3 软关闭 使能	系统状态 2 软关闭 使能	系统状态 1 软关闭 使能	系统状态 0 软关闭 使能

26.14.3 系统状态

系统状态字节中的位决定是否更改电源轨的状态 (1 = 开启、0 = 关闭)。

位	31	...	13	12	11	10	9	8
用途	PAGE31 ON/OFF	...	PAGE13 ON/OFF	PAGE12 ON/OFF	PAGE11 ON/OFF	PAGE10 ON/OFF	PAGE9 ON/OFF	PAGE8 ON/OFF
位	7	6	5	4	3	2	1	0
用途	PAGE7 ON/OFF	PAGE6 ON/OFF	PAGE5 ON/OFF	PAGE4 ON/OFF	PAGE3 ON/OFF	PAGE2 ON/OFF	PAGE1 ON/OFF	PAGE0 ON/OFF

备注

注意：上表假设器件支持 32 个电源轨 (0 至 31)。对于给定器件，情况可能并非如此。

如果器件支持的电源轨少于 32 个，则额外字节被视为无关紧要。

26.15 (DEh) RESEQUENCE (MFR_SPECIFIC_14)

此写入块通用命令用于指示特定电源轨重新定序。如果电源轨得到指示重新定序，电源轨将首先执行软关闭。在得到指示重新定序的所有电源轨关闭 (电压降至 POWER_GOOD_OFF 以下) 后，将会有一段延迟，之后电源轨才得到指示重新开启。延迟是由 MISC_CONFIG 命令中的“重新定序之间的时间”字节定义的 (节 26.42)。在延迟之后，电源轨将根据所有依赖条件和/或 TON_DELAY 开启。

构成此命令的有效载荷中的位确定电源轨是否重新定序 (1 = 是、0 = 否)。

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
0			CMD = DE
1	0		BYTE_COUNT = 4
2	1	0	重新定序页面屏蔽 (字节 0 - LSB)
3	2	1	重新定序页面屏蔽 (字节 1)
4	3	2	重新定序页面屏蔽 (字节 2)
5	4	3	重新序列页屏蔽 (字节 3 - MSB)

位	31	...	13	12	11	10	9	8
用途	PAGE31	...	PAGE13	PAGE12	PAGE11	PAGE10	PAGE9	PAGE8
位	7	6	5	4	3	2	1	0
用途	PAGE7	PAGE6	PAGE5	PAGE4	PAGE3	PAGE2	PAGE1	PAGE0

26.16 (DFh) CONSTANTS (MFR_SPECIFIC_15)

此读取字节块命令提供有关器件的固定信息。有关更多这些详细信息，请参阅器件特定数据表。

表 26-18. CONSTANTS 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
0			CMD = DF
1	0		BYTE_COUNT = 8
2	1	0	最大数字比较器数量
3	2	1	最大通用输出 (GPO) 数量

表 26-18. CONSTANTS 命令格式 (续)

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
4	3	2	最大通用输入 (GPI) 数量
5	4	3	最大页面数量
6	5	4	最大风扇数量
7	6	5	最大监控器数量
8	7	6	记录的故障详细信息中的最大条目数量 (请参阅 LOGGED_FAULT_DETAIL)
9	8	7	最大 PWM 输出数量

26.17 (E0h) PWM_SELECT (MFR_SPECIFIC_16)

此读取/写入字节命令确定 PWM_CONFIG 命令应用于哪个 PWM。此处给出的值必须是有效引脚 ID。有关可用 PWM 引脚的引脚 ID 值，请参阅表 23-1。

26.18 (E1h) PWM_CONFIG (MFR_SPECIFIC_17)

此读取/写入字节命令配置由 PWM_SELECT 命令标识的 PWM。占空比采用 LINEAR11 格式，有效值介于 0 和 100 (%) 之间。请注意，这意味着有效值介于 0 和 1 之间，任何大于 1 的值都会导致器件设置无效数据。频率是一个未格式化的 32 位值。有关配置 PWM 频率的更多信息，请参阅节 24。要取消配置 PWM，请将频率设置为零，发出 STORE_DEFAULT_ALL 命令并复位器件。

表 26-19. PWM_CONFIG 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
0			CMD = E1
1	0		BYTE_COUNT = 8
2	1	0	占空比 (低字节)
3	2	1	占空比 (高字节)
4	3	2	频率 (低字节)
5	4	3	频率
6	5	4	频率
7	6	5	频率 (高字节)
8	7	6	保留
9	8	7	保留

26.19 (E2h) PARM_INFO (MFR_SPECIFIC_18)

此读取/写入块命令用于配置 PARM_VALUE 命令使用的参数。

PARM_INFO 命令会更新发出 RAM 或硬件寄存器等的通用读取/写入操作所需的四个变量。这四个变量为 parm_index、parm_offset、parm_count 和 parm_size。

其说明如下：

Parm_index - 基地址的索引 0 = RAM 1 = 硬件外设 2 = 数据闪存中的常量 (只读, 除非解锁) 3 = 程序闪存中的常量 (只读) 4 = 数据闪存控制寄存器 5 = EEPROM (只读, 仅限 Parm_size = 4 时) Parm_offset - 相对于 parm_base 选择的基地址的偏移量。 Parm_count - 要读取或写入的元素数量

Parm_size - 每个元素的大小 (以字节为单位)。(有效值为 1、2 或 4)。

PARAM_INFO 和 PARAM_VALUE 组合使用, 可提供对任何 RAM 地址或硬件寄存器进行读取或写入的方法。由于每个版本的变量可能位于不同的位置, 因此可能需要特定于固件版本的映射文件来确定特定 RAM 变量的偏移量。

表 26-20. PARAM_INFO 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
0			CMD = E2
1	0		BYTE_COUNT = 6
2	1	0	索引
3	2	1	偏移量低字节
4	3	2	偏移量中间字节
5	4	3	偏移量高字节
6	5	4	数量
7	6	5	尺寸

26.20 (E3h) PARAM_VALUE (MFR_SPECIFIC_19)

此读取/写入块命令用于读取和写入 RAM 地址或硬件外设寄存器。此命令假设先前已运行 PARAM_INFO 命令, 根据需要设置 parm_base、parm_offset、parm_count 和 parm_size 变量。

26.21 (E4h) TEMPERATURE_CAL_GAIN (MFR_SPECIFIC_20)

此读取/写入字命令可设置 READ_TEMPERATURE_2 命令使用的外部传感器的增益校准。每个外部温度传感器 (通常每个电源输出轨一个) 都有自己的校准设置。

此命令具有两个 Linear11 数据格式的数据字节。单位为摄氏度/伏。

26.22 (E5h) TEMPERATURE_CAL_OFFSET (MFR_SPECIFIC_21)

此读取/写入字命令可设置 READ_TEMPERATURE_2 命令使用的外部传感器的偏移校准。每个外部温度传感器 (通常每个电源输出轨一个) 都有自己的校准设置。

此命令具有两个 Linear11 数据格式的数据字节。单位为摄氏度。

26.23 (E6h) SET_BREAKPOINTS (MFR_SPECIFIC_22)

此分页读取/写入字命令在 UDC91xx 器件中设置断点, 以便在继续进入下一个电源轨状态之前停止给定的页面 (有关器件可用电源轨状态的更多信息, 请参阅 RAIL_STATE 命令)。停止时, 该页面将在读取 RAIL_STATE 命令时返回断点状态。

备注

此命令仅用于调试用途, 不是常规器件启动序列的一部分。

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
0			
1	0	0	Stop-on 状态字节 (请参阅表 26-21)
2	1	1	Stop-from 状态字节 (请参阅表 26-21)

此命令中发送的两个字节反映了要中断的给定状态转换。要在给定状态下停止, 必须满足来自 “Stop-on” 字节和 “Stop-off” 字节的一对条件。例如, 如果在满足电源轨的依赖条件后需要在 START_DELAY 功能开始之前停

止，则必须设置“Stop-on”状态字节中的 START_DELAY 位和“Stop-from”状态字节中的 SEQ_ON 位。如果只设置了其中的一个，电源轨将不会进入断点状态，而是正常进入 START_DELAY 状态。该页面将保持断点状态，直至接收到 DEBUG_CONTINUE 命令（请参阅节 26.24），该命令指示该页面应继续转换。

这些字节中的位不是独占的，可以同时设置以创建给定页面将进行状态转换的多个单一条件。

表 26-21. 断点状态字节格式

位	7	6	5	4	3	2	1	0
用途	RAMP_DOW N	STOP_DELA Y	SEQ_OFF	调节	RAMP_UP	START_DELA Y	SEQ_ON	空闲

26.24 (E7h) DEBUG_CONTINUE (MFR_SPECIFIC_23)

该通用读取/写入块命令指示给定页面从 BREAKPOINT 状态继续。如果页当前未处于 BREAKPOINT 状态，则写入此命令无效。该命令返回的值将指示设置了给定页面的标志，但如果达到节 26.23 中所述的页面条件，则该标志将被清除并且页面将按照此命令的指示停止。在再次发出 DEBUG_CONTINUE 命令之前，页面不会继续运行。

此命令中包含的位指示给定页面是否继续运行（1 = 是、0 = 否）

字节编号（写入）	字节编号（读取）	有效载荷索引	说明
0			CMD = E7h
1	0		BYTE_COUNT = 4
2	1	0	调试继续页面屏蔽（字节 0 - LSB）
3	2	1	调试继续页面屏蔽（字节 1）
4	3	2	调试继续页面屏蔽（字节 2）
5	4	3	调试继续页面屏蔽（字节 3）

位	31	...	5	4	3	2	1	0
用途	页面 31	...	页面 5	页面 4	页面 3	页面 2	页面 1	页面 0

26.25 (E9h) FAULT_RESPONSES (MFR_SPECIFIC_25)

此分页读取/写入块命令设置对每个故障条件的响应。使用此命令代替以下标准 PMBus 命令：

- VOUT_OV_FAULT_RESPONSE
- VOUT_UV_FAULT_RESPONSE
- IOUT_OC_FAULT_RESPONSE
- IOUT_UC_FAULT_RESPONSE
- OT_FAULT_RESPONSE
- TON_MAX_FAULT_RESPONSE

与最初的 PMBus 故障响应命令一样，每当发生故障时：

- 相应的故障位是设置的状态寄存器。
- PMBus ALERT 引脚置为有效。
- 一旦设置，故障位将仅根据 PMBus 规范第 10.2.3 节的规定清除，而不会在故障条件消除或纠正时清除。

表 26-22 展示了命令格式。

表 26-22. FAULT_RESPONSES 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
0			CMD = E9
1	0		BYTE_COUNT = 9
2	1	0	VOUT_OV 故障响应
3	2	1	VOUT_UV 故障响应
4	3	2	IOUT_OC 故障响应
5	4	3	IOUT_UC 故障响应
6	5	4	OT 故障响应
7	6	5	TON_MAX 故障响应
8	7	6	重试之间的时间
9	8	7	电压故障的最大干扰时间
10	9	8	非电压故障的最大干扰时间

26.25.1 故障响应字节

故障响应字节 (前八个字节) 的格式如表 26-23 中所示。

表 26-23. 故障响应字节格式

位	说明	值	含义
7	运行	不适用	此位设置为 1 时, 器件会关断 (禁用输出), 并根据位 [3:0] 中的重试设置进行响应。与以下干扰滤波器位相关的功能可以延迟或阻止关断。 设置为零时, PMBus 器件继续运行而不会中断。
6	干扰滤波器	不适用	此位设置为 1 时, 器件会在“电压故障的最大干扰时间”或“非电压故障的最大干扰时间”字节指定的延迟时间内继续运行。如果在延迟时间内故障条件消除, 计时器复位并且故障会被忽略。如果故障条件在延迟时间后继续存在, 器件将按照重试设置 (位 [3:0]) 中的编程设定对故障进行响应。
5	软停止	不适用	如果此位设置为 1, 则电源轨进入软停止 (使用 TOFF_DELAY)。如果设置为 0, 电源轨立即关闭。
4	重新定序	不适用	此位设置为 1 且重试次数已用尽时, 电源轨及其故障从器件会按照软停止位的设置以某种方式关断。所有这些电源轨在 MISC_CONFIG 命令中的“重新定序之间的时间”字节定义的延迟时间后重新定序 (请参阅节 26.42)
3:0	重试设置	0000	重试设置的值为 0 意味着器件不会尝试重新启动电源轨。电源轨保持关断状态, 直到接收到先关断后导通命令 (通过 OPERATION 命令或 CONTROL 引脚或引脚选择的状态)。
		0001-1110	器件尝试重新启动电源轨这些位设置的次数。当未设置软停止位时, 最小次数为 1, 最大次数为 14。启用软停止位时, 尝试次数会少一次。如果电源轨未能在允许的重试次数内成功重新启动, 则器件会禁用该电源轨并保持关断状态, 除非设置了重新定序位。还可以根据 PMBus 规范第 10.7 节所述的条件重新打开该电源轨。开始每次重新启动尝试之间的时间由“重试之间的时间”字节设置。 注意: 只要电源轨保持在 TON_MAX_FAULT_LIMIT 时间内保持在稳压状态且没有干扰, 重试计数就会重置。(如果 TON_MAX_FAULT_LIMIT 设置为 0, 则该时间为 4 秒。) 运行位设置为零的故障干扰会被忽略。
		1111	器件会尝试不受限制地连续重新启动电源轨, 直到 (通过 CONTROL 引脚和/或 OPERATION 命令) 命令其关闭, 移除辅助电源或其他故障条件导致该电源轨关断。

26.25.2 重新定序

提供了重新定序选项, 以响应每种故障类型。在针对给定故障的重试次数用完之前, 不会执行重新定序操作。在重新定序操作期间:

- 发生故障的电源轨及其故障关断从电源轨 (FSS) 会立即禁用 (立即停止), 或根据配置的关断序列禁用 (延迟停止)
- 在故障电源轨及其 FSS 电源轨的使能引脚置为无效且所有这些电源轨都关闭 (电压降至 POWER_GOOD_OFF 以下) 后, UCD91xxx 会等待可编程的延迟时间, 然后再开始重新定序。延迟时间由 MISC_CONFIG 命令中的“重新定序之间的时间”字节配置 (请参阅节 26.42)。在等待电源轨关闭时, 如果

任何电源轨电压在 `TOFF_MAX_WARN_LIMIT` 定义的时间段内未降至标称输出电压的 12.5% 以下，则会发生 `TOFF_MAX_WARN` 警告。软件可以配置在发生 `TOFF_MAX_WARN` 警告时是否中止重新定时序。有关更多信息，请参阅 `MISC_CONFIG` 命令 (节 26.42)。可以将其配置为在重新定时序时忽略电源轨的 `POWER_GOOD_OFF` 和 `TOFF_WARNING` 状态 (请参阅节 26.42)。这主要用于 `EN` 信号不受 UCD 控制的电源轨。

- 在重新定序延迟时间之后，故障电源轨及其 `FSS` 电源轨会根据启动序列配置定序开启。重新定序尝试可以重复 1-4 次或不限次数，以使故障电源轨及其 `FSS` 电源轨达到稳压状态。最大重新定序次数在节 26.42 中配置。如果重新定序操作成功 - 也就是说，所有重新定序的电源轨都保持正常运行 (电源正常且无重试) 1 秒 - 重新定序计数器复位。(如果重新定序的电源轨未配置为在重新定序期间开启，则在声明重新定序操作成功之前器件不会等待该电源轨开启。) 如果电源轨经过最大次数的重新定序并且无法达到正常运行状态，则需要进行器件复位以复位重新定序计数器。可命令电源轨先关闭然后再打开，以尝试使其恢复正常运行。

如果只有一组故障电源轨和 `FSS` 电源轨，则该重新定序操作将直接进行。如果两组或多组电源轨同时需要重新定序，则器件行为始终比较保守。例如，如果一组电源轨已进行第二次重新定序，并且器件配置为重新定序三次，而另一组电源轨进入重新定序状态，则第二组电源轨仅重新定序一次，使得总重新定序的次数为 3。另一个示例 - 如果一组电源轨等待其所有电源轨关闭以便其可以重新定序，并且另一组电源轨进入重新定序状态，则器件现在会等待两组中的所有电源轨都关闭，然后再重新定序。

如果重新定序状态下的任何电源轨均由 `GPI` 故障响应引起，则整个重新定序会暂停，直到通过物理方式清除 `GPI` 故障。

26.25.3 重试之间的时间

配置为重试时，此值确定器件因故障而关闭电源轨和尝试重新启用电源轨之间等待的时间。

此字节的格式如节 18.5 所示。最小值为 1ms。

26.25.4 电压故障的最大干扰时间

此字节中的值乘以 $400\mu\text{s}$ 以获得“电压故障的最大干扰时间”。这适用于以下故障：`VOUT_OV`、`VOUT_UV`。

26.25.5 非电压故障的最大干扰时间

此字节中的值乘以 100ms 以获得“非电压故障的最大干扰时间”。这适用于以下故障：`IOUT_OC`、`IOUT_UC`、`OT`。

备注

`TON_MAX` 故障响应不支持干扰滤波。

26.26 (EAh) LOGGED_FAULTS (MFR_SPECIFIC_26)

此读取/写入块命令可报告所有曾经报告并记录到非易失性存储器中的故障的历史记录。

清除日志：写入块会将所有记录的条目重置为 0。这也会清除 `LOGGED_FAULT_DETAIL` 条目 (请参阅节 26.28)。如果启用了欠压功能，清除日志时不会清除非易失性存储器。对于需要欠压功能的应用，用户必须在发出清除日志的命令之前禁用欠压功能，并在清除日志后重新启用欠压功能。

26.26.1 命令格式

此命令按表 26-24 中所示的顺序返回二进制数组。请注意，该命令会发送所有页面的信息，即使某些页面处于非活动状态也是如此。非活动页面的日志条目报告为 0x00。

表 26-24. LOGGED_FAULTS 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷 索引	说明
0			<code>CMD = EA</code>
1	0		<code>BYTE_COUNT = 37</code>
2	1	0	非分页故障

表 26-24. LOGGED_FAULTS 命令格式 (续)

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
3	2	1	GPI 故障 (字节 0 - LSB)
4	3	2	GPI 故障 (字节 1)
5	4	3	GPI 故障 (字节 2)
6	5	4	GPI 故障 (字节 3 - MSB)
7	6	5	页面 0 故障
...	页面 1 故障
...
38	37	36	页面 31 故障

26.26.2 非分页故障

常见故障的位定义如表 26-25 所示。

通过检查此单个位 (非分页故障字节的位 0)，主机可以确定是发生了任何页面依赖故障还是 GPI 故障。此位中的值为 0 表示所有页面依赖故障和 GPI 故障的日志条目都是 0，不需要读取。此位中的值为 1 表示发生了一个或多个页面依赖故障的或 GPI 故障。在这种情况下，主机必须检查所有日志条目，以确定哪些日志条目包含日志信息。

表 26-25. 非分页故障的日志位定义

位	说明	是否可以生成 LOGGED_FAULT_DETAIL 条目?
0	LOG_NOT_EMPTY	否
1	系统看门狗超时	是
2	重新定序错误	否
3	看门狗超时	是
4	保留	否
5	保留	否
6	保留	否
7	保留	否

26.26.3 GPI 故障

GPI 故障的位定义如表 26-26 所示。只要相关 GPI 置为无效，就会设置这些位。

表 26-26. GPI 故障的日志位定义

位	说明	是否可以生成 LOGGED_FAULT_DETAIL 条目?
字节 0 (LSB)		
0	GPI_0	是
1	GPI_1	是
2	GPI_2	是
3	GPI_3	是
4	GPI_4	是
5	GPI_5	是
6	GPI_6	是
7	GPI_7	是
字节 1		
0	GPI_8	是
1	GPI_9	是

表 26-26. GPI 故障的日志位定义 (续)

位	说明	是否可以生成 LOGGED_FAULT_DETAIL 条目?
2	GPI_10	是
3	GPI_11	是
4	GPI_12	是
5	GPI_13	是
6	GPI_14	是
7	GPI_15	是
字节 2		
0	GPI_16	是
1	GPI_17	是
2	GPI_18	是
3	GPI_19	是
4	GPI_20	是
5	GPI_21	是
6	GPI_22	是
7	GPI_23	是
字节 3		
0	GPI_24	是
...
7	GPI_31	是

26.26.4 页面依赖故障

页面依赖故障的位定义如表 26-27 所示。

表 26-27. 页面依赖故障的日志位定义

位	说明	是否可以生成 LOGGED_FAULT_DETAIL 条目?
0	VOUT_OV 故障	是
1	VOUT_UV 故障	是
2	TON_MAX 故障	是
3	IOUT_OC 故障	是
4	IOUT_UC 故障	是
5	TEMPERATURE_OT 故障	是
6	序列开启超时	是
7	序列关闭超时	是

26.27 (EBh) LOGGED_FAULT_DETAIL_INDEX (MFR_SPECIFIC_27)

此命令的读取形式将报告 LOGGED_FAULT_DETAIL 条目的总数和这些条目索引的当前值 (请参阅节 26.28)。可以写入故障索引字节。

表 26-28. LOGGED_FAULT_DETAIL_INDEX 命令格式

字节编号	说明
1	故障索引 (读/写)
2	LOGGED_FAULT_DETAIL 条目总数 (只读)

26.28 (Ech) LOGGED_FAULT_DETAIL (MFR_SPECIFIC_28)

此该只读命令返回有关给定故障的详细信息：

1. 故障发生的时间（采用日历格式）（请参阅节 26.9）
2. 故障是否特定于页面
3. 发生故障的页面（适用时）
4. 故障类型（请参阅节 26.26）

表 26-29. LOGGED_FAULT_DETAIL 命令格式

字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
		CMD = EC
0		BYTE_COUNT = 12
1	0	秒和毫秒（低字节）
2	1	秒和毫秒（高字节）
3	2	日、小时和分钟（低字节）
4	3	日天、小时和分钟（高字节）
5	4	年和月（低字节）
6	5	年和月（高字节）
7	6	页号
8	7	故障 ID
9	8	故障值（低字节）
10	9	故障值（中间字节）
11	10	故障值（中间高字节） ⁽¹⁾
12	11	故障值（高字节） ⁽¹⁾

(1) 只有当前故障类型为序列开启超时或序列关闭超时时，此字节才有效。

给定故障的新 LOGGED_FAULT_DETAIL 条目会记录一次，然后在发生以下事件之一之前不会再次记录：

1. 固件重新启动。
2. 电源轨在 TON_MAX_FAULT_LIMIT 确定的时间内保持稳压状态。如果 TON_MAX_FAULT_LIMIT 设置为 0，则该时间为 4 秒。（这仅适用于分页故障）
3. 电源轨先关闭然后重新开启。（这仅适用于分页故障。）
4. 写入 CLEAR_FAULTS 命令。
5. 写入 LOGGED_FAULTS 命令。

对于仅温度电源轨，即只有温度监控器且未分配使能引脚的电源轨，除非使用存储的配置运行，否则过热故障将仅记录一次。

每次 GPI 状态更改为置为无效时，都会记录 GPI 故障。

每个器件的最大条目数在表 26-30 中显示。记录最大条目数后，在清除故障日志之前，不会记录更多详细信息（请参阅节 26.26）。除非设置了 MISC_CONFIG 命令中的“启用日志 FIFO”位（请参阅表 26-46）。

表 26-30. 每种器件类型中的日志条目数

器件	条目入门级
UCD91160	100
UCD91320	100

故障标识字节指示故障类型以及该故障是否特定于页面，请参阅表 26-31。

表 26-31. 故障标识

位	说明
7	特定于页面（1 - 是，0 - 否）

表 26-31. 故障标识 (续)

位	说明
6:0	故障类型

故障值 (单位和格式) 信息在表 26-32 中显示。

表 26-32. 故障值

故障类型编号	是否分页?	说明	故障值单位	数据格式
0	否	保留		
1	否	系统看门狗超时	无效	不适用
2	否	重新定序错误 ⁽³⁾	无效	不适用
3	否	看门狗超时	无效	不适用
4	否	单粒子翻转 (SEU)		不适用
5	否	保留		不适用
6	否	保留		不适用
7	否	保留		不适用
8	否	保留		不适用
9	否	GPI 故障 ⁽¹⁾	无效	不适用
0	是	VOUT_OV 故障	电压	LINEAR16
1	是	VOUT_UV 故障	电压	LINEAR16
2	是	TON_MAX 故障	电压	LINEAR16
3	是	保留		不适用
4	是	保留		不适用
5	是	TEMPERATURE_OT 故障	温度	LINEAR11
6	是	序列开启超时	不适用	位屏蔽 ⁽²⁾
7	是	序列关闭超时	不适用	位屏蔽 ⁽²⁾

(1) 页面编号用于对故障信息应用于哪个 GPI 进行编码。

(2) 任何设置为 1 的位都对应于未满足的页面依赖条件。未满足的 GPI 依赖条件会通过“或”运算合并为 32 位。因此,例如,如果未满足页面依赖条件 2 和 5 并且未满足 GPI W (位 4) 依赖条件,则故障值为 0x00000034。

(3) 故障值保留用于重新定序错误,但不会记录这些错误。

26.29 (EFh) LOG_FAULT_DETAIL_ENABLES (MFR_SPECIFIC_31)

此读取/写入块命令可选择按电源轨和故障类型记录的故障详细信息 (请参阅节 26.28)。命令、命令中的字节和这些字节中的位的格式与 LOGGED_FAULTS 命令相同,请参阅节 26.26.1。对于此 LOGGED_FAULT_DETAIL_ENABLES 命令,这些位会选择是否记录 (1) 或未记录 (0) 故障。

表 26-33. LOGGED_FAULT_DETAIL_ENABLES 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
0			CMD = EF
1	0		BYTE_COUNT = 37
2	1	0	非分页使能标志
3	2	1	GPI 使能标志 - 字节 0 (LSB)
4	3	2	GPI 使能标志 - 字节 1
5	4	3	GPI 使能标志 - 字节 2
6	5	4	GPI 使能标志 - 字节 3 (MSB)
7	6	5	页面使能标志 - 页面 0
8	7	6	页面使能标志 - 页面 1

表 26-33. LOGGED_FAULT_DETAIL_ENABLES 命令格式 (续)

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷 索引	说明
9	8	7	页面使能标志 - 页面 2
10	9	8	页面使能标志 - 页面 3
11	10	9	页面使能标志 - 页面 4
12	11	10	页面使能标志 - 页 5
13	12	11	页面使能标志 - 页面 6
14	13	12	页面使能标志 - 页面 7
15	14	13	页面使能标志 - 页面 8
16	15	14	页面使能标志 - 页 9
17	16	15	页面使能标志 - 页面 10
18	17	16	页面使能标志 - 页面 11
19	18	17	页面使能标志 - 页面 12
20	19	18	页面使能标志 - 页面 13
21	20	19	页面使能标志 - 页面 14
22	21	20	页面使能标志 - 页面 15
23	22	21	页面使能标志 - 页面 16
24	23	22	页面使能标志 - 页 17
25	24	23	页面使能标志 - 页面 18
26	25	24	页面使能标志 - 页面 19
27	26	25	页面使能标志 - 页面 20
28	27	26	页面使能标志 - 页面 21
29	28	27	页面使能标志 - 页面 22
30	29	28	页面使能标志 - 页面 23
...	
38	37	36	页面使能标志 - 页面 31

26.30 (F0h) EXECUTE_FLASH (MFR_SPECIFIC_32)

UCD91xxx 不支持此命令。

26.31 (F1h) SECURITY (MFR_SPECIFIC_33)

UCD91xxx 不支持此命令。[ACCESS_CONTROL](#) 命令支持类似的功能。

26.32 F2h) SECURITY_BIT_MASK (MFR_SPECIFIC_34)

UCD91xxx 不支持此命令。

26.33 (F3h) MFR_STATUS (MFR_SPECIFIC_35)

制造商状态位在表 26-34 中定义。除了 STORE_DEFAULT_ALL_DONE 位外，设置以下任何位，PMBALERT# 线路都会置为有效。

表 26-34. 制造特定状态

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷 索引	每个有效载荷 字节 中的位	名称	说明
0					CMD = F3

表 26-34. 制造特定状态 (续)

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷 索引	每个有效载荷 字节 中的位	名称	说明
1	0				BYTE_COUNT = 6
2	1	0	0	GPI25 故障	每当 GPI 置为无效时设置
...
2	1	0	7	GPI32 故障	
3	2	1	0	GPI17 故障	
...	
3	2	1	7	GPI24 故障	
4	3	2	0	GPI9 故障	
...	
4	3	2	7	GPI16 故障	
5	4	3	0	GPI1 故障	
...		
5	4	3	7	GPI8 故障	每当 GPI 置为无效时设置
6	5	4	0	WATCHDOG_TIMEOUT	发生了 UCD91xxx 内部看门狗超时复位
			1	STORE_DEFAULT_ALL_DONE	STORE_DEFAULT_ALL 操作已完成
			2	STORE_DEFAULT_ALL_ERROR	STORE_DEFAULT_ALL 期间出错
			3	SYSTEM_WATCHDOG_TIMEOUT	发生了系统看门狗超时复位 (请参阅节 26.5)
			4	NEW_LOGGED_FAULT_DETAIL	每当记录了新的故障详细信息条目时, 就会设置此位。每当读取 LOGGED_FAULT_DETAIL 命令时, 此位就会被清零。
			5	STORE_PARM_VALUE_ERROR	下载配置期间出错
			6	SINGLE_EVENT_UPSET	发生了单粒子翻转
			7	LFCLK_FAILURE	发生了用于 RTC 的低频时钟故障。仅当在 MISC_CONFIG 命令中设置了 LFCLK 使能位时, 此位才适用。
7	6	5	0	SLAVED_FAULT	电源轨因依赖于另一个发生故障的电源轨而关闭 (分页) [请参阅节 26.36.9]
			1	SEQ_ON_TIMEOUT	序列启动超时 (分页) [请参阅节 26.36.4]
			2	SEQ_OFF_TIMEOUT	序列关闭超时 (分页) [请参阅节 26.36.4]
			3	HARDCODED_PARMS	PMBus 硬编码配置值已加载到 RAM 中。器件上的数据闪存映像为空或损坏。此状态称为 NOBOARD 配置。此默认配置仅对器件进行最小化配置 (例如, 未定义任何电源轨)。执行 STORE_DEFAULT_ALL 命令会更新器件上的数据闪存。在 STORE_DEFAULT_ALL 命令和复位后, 此 HARDCODED_PARMS 状态位清零。该位也可以通过 CLEAR_FAULTS 命令清零。
			4	PKGID_MISMATCH	硬件包 ID 与固件不匹配
			5	RESEQUENCE_ERROR	重新定序操作期间出错。当作为重新定序操作一部分的电源轨之一在其 TOFF_MAX_WARN_LIMIT 之前未关闭时, 会发生这种情况。
			6	LOGGED_FAULT_DETAIL_FULL	LOGGED_FAULT_DETAIL 缓冲器已满 [请参阅节 26.26]
			7	INVALID_LOG	在非易失性存储器检查期间, 日志的校验和匹配失败。

26.34 (F4h) GPI_FAULT_RESPONSES (MFR_SPECIFIC_36)

此分页读取/写入块命令用于配置电源轨对 GPI 故障的响应。必须通过 GPI_CONFIG (F9h) 命令为相应 GPI 设置故障标志，否则忽略此命令。只有在从置为有效转换为置为无效时，GPI 才会被视为故障。有关更多详细信息，请参阅节 26.39.2。

表 26-35. GPI_FAULT_RESPONSES 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
0			CMD = F4
1	0		BYTE_COUNT = 39
2	1	0	GPI 故障响应 - GPI 0
3	2	1	GPI 故障响应 - GPI 1
4	3	2	GPI 故障响应 - GPI 2
5	4	3	GPI 故障响应 - GPI 3
6	5	4	GPI 故障响应 - GPI 4
7	6	5	GPI 故障响应 - GPI 5
8	7	6	GPI 故障响应 - GPI 6
9	8	7	GPI 故障响应 - GPI 7
10	9	8	GPI 故障响应 - GPI 8
11	10	9	GPI 故障响应 - GPI 9
12	11	10	GPI 故障响应 - GPI 10
13	12	11	GPI 故障响应 - GPI 11
14	13	12	GPI 故障响应 - GPI 12
15	14	13	GPI 故障响应 - GPI 13
16	15	14	GPI 故障响应 - GPI 14
17	16	15	GPI 故障响应 - GPI 15
18	17	16	GPI 故障响应 - GPI 16
19	18	17	GPI 故障响应 - GPI 17
20	19	18	GPI 故障响应 - GPI 18
21	20	19	GPI 故障响应 - GPI 19
22	21	20	GPI 故障响应 - GPI 20
23	22	21	GPI 故障响应 - GPI 21
24	23	22	GPI 故障响应 - GPI 22
25	24	23	GPI 故障响应 - GPI 23
26	25	24	GPI 故障响应 - GPI 24
27	26	25	GPI 故障响应 - GPI 25
28	27	26	GPI 故障响应 - GPI 26
29	28	27	GPI 故障响应 - GPI 27
30	29	28	GPI 故障响应 - GPI 28
31	30	29	GPI 故障响应 - GPI 29
32	31	30	GPI 故障响应 - GPI 30
33	32	31	GPI 故障响应 - GPI 31
34	33	32	重试之间的时间

表 26-35. GPI_FAULT_RESPONSES 命令格式 (续)

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
35	34	33	GPI 的最大干扰时间 (低字节)
36	35	34	GPI 的最大干扰时间 (高字节)
37	36	35	GPI 数值电源轨特性曲线选择 1
38	37	36	GPI 数值电源轨特性曲线选择 2
39	38	37	特性曲线的闭锁期 (低字节)
40	39	38	特性曲线的闭锁期 (高低字节)

26.34.1 故障响应字节

有关故障响应字节的字节定义，请参阅节 26.25.1，GPI 故障响应不支持重试操作。

26.34.2 重试之间的时间

配置为重试时，此值确定器件因故障而关闭电源轨和尝试重新启用电源轨之间的延迟时间。该字节的格式如节 18.5 所示。此值必须大于 1ms。

备注

应写入此值以匹配针对 FAULT_RESPONSES 命令 (如果使用) 的重试之间所需的时间。UCD91xxx 系列器件仅支持一个重试之间的时间设置，因此为这些命令写入不同的值将覆盖前一个设置。

26.34.3 GPI 的最大干扰时间

此字节中的值乘以 300 μ s 以获得 GPI 输入的最大干扰。

26.34.4 GPI 数值电源轨特性曲线引脚选择

电源轨特性曲线选择可通过此字节标识的输入引脚启用。如果此字节的值为 0，并且相应的特性曲线选择状态在置为无效时处于默认状态，则忽略该功能。当启用此功能时，分配的 GPI 引脚用于根据置为有效的状态选择预定义的电源轨特性曲线。有关预定义电源轨特性曲线的更多详细信息，请参阅 RAIL_PROFILE_INDEX。此外，分配的 GPI 引脚不能用于其他功能，例如故障响应、GPO 输出。应用程序有责任确保设置正确，器件不会执行有关这些方面的任何检查。每个电源轨最多可有 2 个 GPI 作为电源轨特性曲线选择。

表 26-36. 电源轨特性曲线引脚选择

电源轨特性 曲线索引	GPI 数值电 源轨特性曲 线选择 2	GPI 数值电 源轨特性曲 线选择 1	电源轨有 1 条特性个曲 线	电源轨有 2 条特性个曲 线	电源轨有 3 条特性个曲 线	电源轨有 4 条特性个曲 线
0	置为无效	置为无效	0	0	0	0
1	置为无效	置为有效	0	1	1	1
2	置为有效	置为无效	0	0	2	2
3	置为有效	置为有效	0	1	2	3

26.34.5 特性曲线的闭锁期

这两个字节中的值乘以 400 μ s 定义了闭锁期，该周期可在特性曲线发生更改时屏蔽给定电源轨上所有与电压相关的故障。只有特性曲线发生切换时才会重新加载闭锁期。

26.35 (F5h) MARGIN_CONFIG (MFR_SPECIFIC_37)

此分页读取/写入字节命令配置是否可以对给定电源轨进行裕度调节，以及若可调节则采用何种方式。采用数字监控的电源轨不支持裕度量调节。

表 26-37. MARGIN_CONFIG 命令格式

位	名称	说明
字节 0		
7:0	PWM 引脚	选择 PWM 引脚。此值为 MARx 引脚 ID。有关更多详细信息，请参阅器件数据表。 PWM 的频率使用 PWM_CONFIG 命令进行配置。
字节 1		
7:6	模式 ⁽¹⁾	b' 00 : 禁用 - 裕度调节量禁用
		b' 01 : ENABLE_HIGH_IMPEDANCE - 不进行裕度调节时，PWM 引脚将置于高阻抗状态
		b' 10 : ENABLE_ACTIVE_TRIM - 不进行裕度调节时，持续调整 PWM 占空比以保持 VOUT_COMMAND 上的电压
		b' 11 : ENABLE_FIXED_DUTY_CYCLE - 不进行裕度调节时，PWM 占空比会设置为固定占空比
5	忽略故障	当通过一个引脚启用裕度调节时，此位确定是否忽略故障（过压和欠压）。此设置可以覆盖 OPERATION 命令中的同等设置或被其覆盖。
4	占空比	此位确定占空比和输出电压之间的关系。输出电压增加，而占空比会：
		1 - 增加 0 - 减少
3	标称占空比模式	设置时，标称占空比模式启用，并且当启用/禁用时，PWM 引脚将从 PWM_CONFIG 中设置的 DUTY_CYCLE 值启动并返回该值。有关更多详细信息，请参阅 裕度调节 。
2:0	保留	保留

(1) 如果模式不是 DISABLE，则必须在写入 MARGIN_CONFIG 命令之前写入相关的 PWM_CONFIG 命令。

26.36 (F6h) SEQ_CONFIG (MFR_SPECIFIC_38)

此读取/写入块命令可为给定电源轨配置定序依赖和使能引脚。

功能包括：

1. 定序 - 配置电压轨启用/禁用方式之间的相互依赖条件
2. 故障从器件 - 配置发生故障时也会关闭的从器件页面
3. 使能引脚 - 标识使能引脚及其工作特性。

备注

必须在写入此命令之前完成使用 GPI_CONFIG 命令进行的所有配置。

写入此命令时，电源轨的使能引脚置为无效。然后，重新评估电源轨的状态。如果确定电源轨应开启，则使能引脚随后被置为有效。

表 26-38. SEQ_CONFIG 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
0			CMD = F6
1	0		BYTE_COUNT = 29
2	1	0	启用引脚配置 (引脚 ID)
3	2	1	启用引脚配置 (其他)
4	3	2	GPI 序列开启依赖屏蔽 (字节 0 - LSB)

表 26-38. SEQ_CONFIG 命令格式 (续)

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷 索引	说明
5	4	3	GPI 序列开启依赖屏蔽 (字节 1)
6	5	4	GPI 序列开启依赖屏蔽 (字节 2)
7	6	5	GPI 序列开启依赖屏蔽 (字节 3 - MSB)
8	7	6	GPI 序列关闭依赖屏蔽 (字节 0 - LSB)
9	8	7	GPI 序列关闭依赖屏蔽 (字节 1)
10	9	8	GPI 序列关闭依赖屏蔽 (字节 2)
11	10	9	GPI 序列关闭依赖屏蔽 (字节 3 - LSB)
12	11	10	定序超时配置
13	12	11	定序开启超时
14	13	12	定序关闭超时
15	1 4	1 3	页面序列开启依赖屏蔽 (字节 0 - LSB)
16	1 5	1 4	页面序列开启依赖屏蔽 (字节 1)
17	1 6	1 5	页面序列开启依赖屏蔽 (字节 2)
18	17	16	页面序列开启依赖屏蔽 (字节 3 - MSB)
19	1 8	17	页面序列关闭依赖屏蔽 (字节 0 - LSB)
20	1 9	18	页面序列关闭依赖屏蔽 (字节 1)
21	20	19	页面序列关闭依赖屏蔽 (字节 2)
22	21	20	页面序列关闭依赖屏蔽 (字节 3 - MSB)
23	22	21	故障从器件屏蔽 (字节 0 - LSB)
24	23	22	故障从器件屏蔽 (字节 1)
25	24	23	故障从器件屏蔽 (字节 2)
26	25	24	故障从器件屏蔽 (字节 3 - LSB)
27	26	25	GPO 序列开启依赖屏蔽 (字节 0)
28	27	26	GPO 序列开启依赖屏蔽 (字节 1)
29	28	27	GPO 序列关闭依赖屏蔽 (字节 0)
30	29	28	GPO 序列关闭依赖屏蔽 (字节 1)

每个页面的开启条件可以依赖于其他多个页面或输入引脚的状态。相同的页面和引脚也可用于控制多个页面。GPI 和页面依赖 (依赖序列) 定义了一组条件, 在满足这些条件时允许页面开启。请注意, 必须满足所有条件的逻辑 AND, 才可以开启页面。页面开启后, 这些依赖条件对页面的运行状态没有进一步影响。具体而言, 它们不会导致页面关闭。

依赖序列与用于启用输出的 PMBus 定义的机制并行工作。也就是说, 必须同时满足依赖序列和 PMBus 机制的要求。例如, 如果页面响应 OPERATION 命令并且 OPERATION 命令指定其关闭, 则即使满足所有的定序依赖序列, 该页面仍会保持关闭状态。此外, 满足序列要求的顺序无关紧要; 如果首先发出 OPERATION 命令, 则页面会等待满足定序要求后才能够开启; 或者如果首先满足定序要求, 则页面会等待 OPERATION 命令后才能够开启。

在 ON_OFF_CONFIG 命令中, “None” 设置仍受指定的依赖序列的约束。

在页面命令开启并满足所有依赖序列后，会应用导通延迟 (TON_DELAY)。

除非指示电源轨立即关闭，否则前面的说明也适用于序列关闭依赖 - 在电源轨关闭之前必须满足这些要求，并且在满足依赖条件后，会应用关断延迟 (TOFF_DELAY) 等等。

发生故障后，PMBus 规范要求允许电源轨重新启动之前，发生关闭/开启序列。定序引脚 (如 CONTROL 引脚和引脚选择状态 GPI) 切换会被解释为满足这一要求。例如，假设有一个响应 CONTROL 引脚的页面由于故障而关闭。CONTROL 引脚切换为低电平然后高电平足以重新启动该页面。

26.36.1 启用引脚配置

有关字节格式和详细信息，请参阅节 23。

使能引脚的配置与输出引脚类似。一旦条件指示页面必须启用，使能引脚即处于活动状态，并且在此之前，它们一直处于非活动状态。这些条件由此命令中的 **GPI 依赖屏蔽** 和 **页面依赖屏蔽** 以及 TON_DELAY 命令给出的值定义。

备注

“输入”模式对使能引脚无效。尝试将模式位设置为 1 会设置无效数据。

26.36.2 GPI 序列开启依赖屏蔽

每个页面都有自己的 GPI 序列开启依赖屏蔽，其位定义如下：

位	31	...	5	4	3	2	1	0
用途	GPI 32	...	GPI 6	GPI 5	GPI 4	GPI 3	GPI 2	GPI 1

页面的使能引脚不会置为有效，直到 GPI 位选择的所有输入引脚都置为有效。使能引脚置为有效后，这些 GPI 引脚的状态对使能引脚的状态没有影响。

每个页面可依赖于多达 32 个输入引脚的状态。相同引脚可用于控制多个页面。

26.36.3 GPI 序列关闭依赖屏蔽

每个页面都有自己的 GPI 序列关闭依赖屏蔽，其位定义如下：

位	31	...	5	4	3	2	1	0
用途	GPI 32	...	GPI 6	GPI 5	GPI 4	GPI 3	GPI 2	GPI 1

页面的使能引脚不会置为无效，直到 GPI 位选择的所有输入引脚都置为无效。使能引脚置为无效后，这些 GPI 引脚的状态对使能引脚的状态没有影响。

每个页面可依赖于多达 32 个输入引脚的状态。相同引脚可用于控制多个页面。

26.36.4 定序超时配置

表 26-39 中的配置位定义了器件如何响应序列超时。每当发生定序超时，关联的 MFR 状态和故障日志信息都会更新。

表 26-39. 定序超时配置字节

位	名称	说明
7:4	保留	

表 26-39. 定序超时配置字节 (续)

位	名称	说明
3:2	序列关闭超时操作	此位确定发生序列关闭超时要执行的操作： b' 00 器件继续无限期等待，直到满足序列关闭依赖条件。 - b' 01 器件不再等待满足序列关闭依赖条件，并继续执行禁用电源轨的过程。 - b' 10 (与 b'00 操作相同) - b' 11 (与 b'00 操作相同) -
1:0	序列启动超时操作	此位确定发生序列启动超时要执行的操作： b' 00 器件继续无限期等待，直到满足序列启动依赖条件。 - b' 01 器件不再等待满足序列启动依赖条件，并继续执行启用电源轨的过程。 - b' 10 器件会为此电源轨以及与此电源轨关联的所有故障关断从器件重新定序。 - 此操作按照 MISC_CONFIG 命令中的“重新定序之间的时间”字节和“最大重新定序”字段进行(请参阅节 26.42)。 b' 11 (与 b'00 操作相同) -

26.36.5 定序开启超时

此超时值用于检查电源轨在特定时间段内是否定序开启。换句话说，此超时用于检测是否从未满足电源轨的其中一个序列开启依赖条件。发生这种情况时，会设置状态位。

当电源轨接收到 ON_OFF_CONFIG 中定义的导通命令时，超时周期开始计数。超时值为 0 会禁用超时监控测功能。此字节的格式如节 18.5 所示。

26.36.6 定序关闭超时

此超时值用于检查电源轨在特定时间段内是否定序关闭。换句话说，此超时用于检测是否从未满足电源轨的其中一个序列关闭依赖条件。发生这种情况时，会设置状态位。此字节的格式如节 18.5 所示。

26.36.7 页面序列开启依赖屏蔽

每个页面都有自己的页面序列开启依赖屏蔽，其位定义如下：

位	31	...	13	12	11	10	9	8
用途	PAGE31	...	PAGE13	PAGE12	PAGE11	PAGE10	PAGE9	PAGE8
位	7	6	5	4	3	2	1	0
用途	PAGE7	PAGE6	PAGE5	PAGE4	PAGE3	PAGE2	PAGE1	PAGE0

页面的使能引脚不会置为有效，直到这些位选择的所有电源轨都达到其电源正常状态。

每个页面可以依赖其他几个页面的状态。相同的页面也可用于控制其他页面。

26.36.8 页面序列关闭依赖屏蔽

每个页面都有自己的页面序列关闭依赖屏蔽，其位定义如下：

位	31	...	13	12	11	10	9	8
用途	PAGE31	...	PAGE13	PAGE12	PAGE11	PAGE10	PAGE9	PAGE8
位	7	6	5	4	3	2	1	0

用途	PAGE7	PAGE6	PAGE5	PAGE4	PAGE3	PAGE2	PAGE1	PAGE0
----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

页面的使能引脚不会置为无效，直到这些位选择的所有电源轨都退出其电源正常状态。

每个页面可以依赖其他几个页面的状态。相同的页面也可用于控制其他页面。

26.36.9 故障从器件屏蔽

每个页面都有自己的故障从器件屏蔽，其位定义如下：

位	31	...	13	12	11	10	9	8
用途	PAGE31 故障从器件	...	PAGE13 故障从器件	PAGE12 故障从器件	PAGE11 故障从器件	PAGE10 故障从器件	PAGE9 故障从器件	PAGE8 故障从器件
位	7	6	5	4	3	2	1	0
用途	PAGE7 故障从器件	PAGE6 故障从器件	PAGE5 故障从器件	PAGE4 故障从器件	PAGE3 故障从器件	PAGE2 故障从器件	PAGE1 故障从器件	PAGE0 故障从器件

每个页面可以有多个故障从器件页面。当主页面上发生故障时，如果其响应是关断，则所有从页面也会关断。如果为主页面指定了重试次数，则从页面会保持运行，直到所有重试次数都用完。使用序列关闭依赖条件和 TOFF_DELAY 来关断从页面。在故障从页面关断期间，从页面不执行任何重试。

在关断后，从电源轨被锁闭，就好像它们发生故障一样。要重新启用其输出，必须先接收关闭命令，然后才能接受另一个开启命令。在其 MFR_STATUS 字中会设置一个状态位，指示它们被锁闭的原因。

26.36.10 GPO 序列开启依赖屏蔽

每个页面都有自己的 GPO 序列开启依赖屏蔽，其位定义如下表所示：

位	15	...	5	4	3	2	1	0
用途	GPO16	...	GPO6	GPO5	GPO4	GPO3	GPO2	GPO1

这是 GPO 选择的逻辑状态，而不是用作依赖条件项的 GPO 的实际引脚输出。

页面的使能引脚不会置为无效，直到 GPO 位选择的所有逻辑状态都为 FALSE。使能引脚置为无效后，这些 GPO 的逻辑状态对使能引脚的状态没有影响。

每个页面可依赖于多达 16 个 GPO 逻辑状态的状态。相同状态可用于控制多个页面 (请参阅节 26.38)。

26.36.11 GPO 序列关闭依赖屏蔽

每个页面都有自己的 GPO 序列关闭依赖屏蔽，其位定义如下表所示：

位	15	...	5	4	3	2	1	0
用途	GPO16	...	GPO6	GPO5	GPO4	GPO3	GPO2	GPO1

这是 GPO 选择的逻辑状态，而不是用作依赖条件项的 GPO 的实际引脚输出。

每个页面可依赖于多达 16 个 GPO 逻辑状态的状态。相同状态可用于控制多个页面 (请参阅节 26.38)。

26.37 (F7h) GPO_CONFIG_INDEX (MFR_SPECIFIC_39)

此读/写字节命令选择 GPO 的索引，以用于后续 GPO_CONFIG 命令。

表 26-40. GPO_CONFIG_INDEX 与实际 GPO 编号之间的关系

GPO_CONFIG_INDEX	GPO
0	1
1	2
...	...

表 26-40. GPO_CONFIG_INDEX 与实际 GPO 编号之间的关系 (续)

GPO_CONFIG_INDEX	GPO
15	16

26.38 (F8h) GPO_CONFIG (MFR_SPECIFIC_40)

此读取/写入块命令可配置给定输出引脚的功能。此分页命令允许将引脚配置为受状态/GPI 影响的输出。输出引脚的状态由一系列 GPI 和电源轨状态、其他 GPO (分配或未分配实际引脚) 以及其他功能块 (如看门狗) 决定。输入状态通过一些组合逻辑和可选的反转步骤进行处理。器件上电时, GPO 状态会根据其配置进行初始评估。此后, 有任何相关状态发生变化时, 都会触发评估。

备注

所有通过 MONITOR_CONFIG、GPI_CONFIG 和 SEQ_CONFIG 命令进行的配置必须在写入此命令之前完成。

图 26-1 概述了如何确定 GPO 的状态。

备注

本文档引用了以“AND 路径 0”开头的 AND 路径。

备注

图 26-1 中的信息表明该器件支持 12 个电源轨 (0 至 11)。对于给定器件, 情况可能并非如此。必须根据正确的电源轨数量, 调整对此信息的解释。

状态机模式的效果在图 26-1 中未表示。启用该模式后, 一次只有一个 AND 路径处于活动状态。

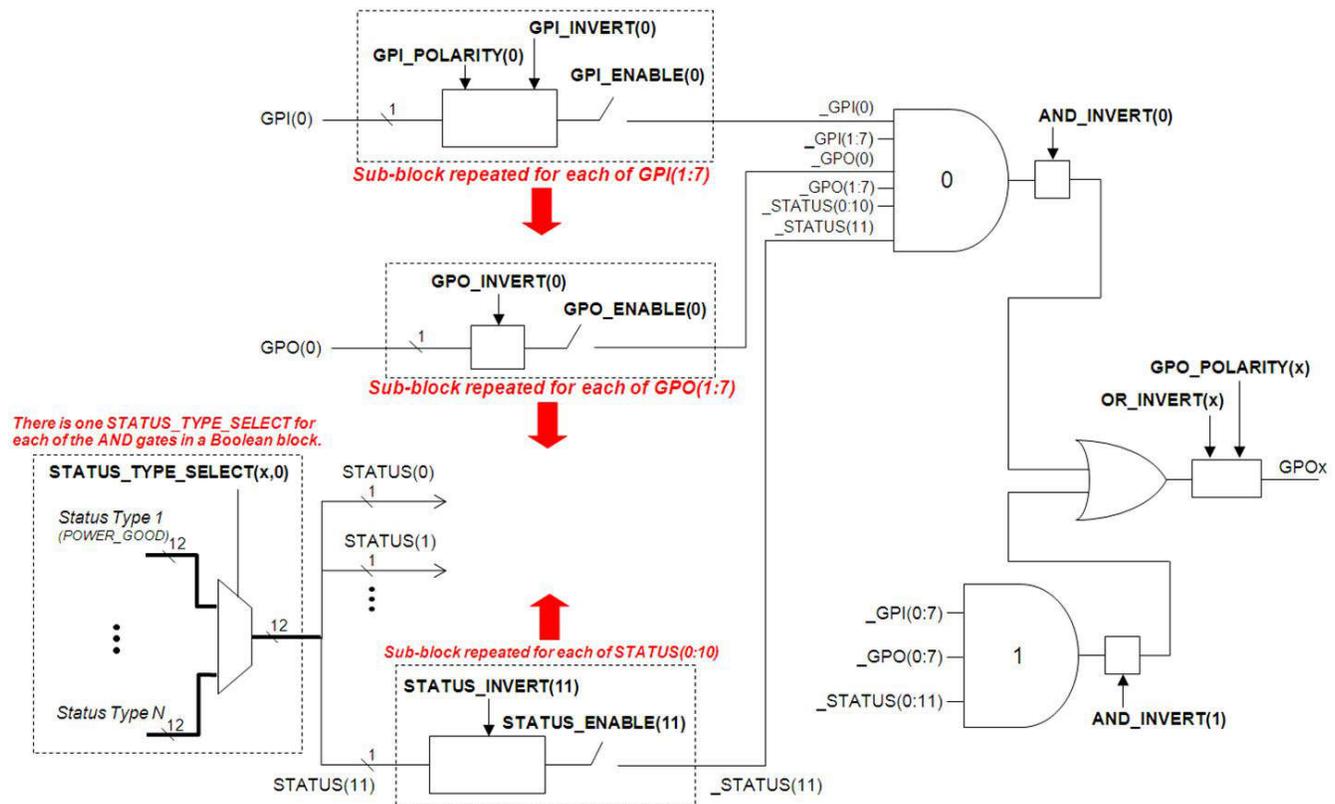


图 26-1. 决定 GPO 状态的因素

备注

为了提高代码效率，所有已配置/活动 GPO 都必须封装在较低的 GPO 索引中。这意味着，如果只有一个已配置的 GPO，则它必须与 GPO 索引 0 关联。如果有两个，则它们必须关联 GPO 索引 0 和 1。

表 26-41. GPO_CONFIG 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷 索引	说明	
0			CMD = F8	
1	0		BYTE_COUNT = 46	
2	1	0	输出引脚配置 (引脚 ID)	
3	2	1	输出引脚配置 (其他)	
4	3	2	位 说明	
			7	置为有效延迟使能
			6	置为无效延迟使能
			5	反转 OR 输出
			4	延迟期间忽略输入
			3:0	高分辨率延迟计数
5	4	3	毫秒级延迟	
6	5	4	AND 路径 0 配置	
			位 说明	
			7	反转 AND 输出
			6	状态机模式使能
			5:0	状态类型
7	6	5	AND 路径 1 配置	
			位 说明	
			7	反转 AND 输出
			6	保留
			5:0	状态类型
AND 路径 0				
8	7	6	状态屏蔽 (字节 0 - LSB)	
9	8	7	状态屏蔽	
10	9	8	状态屏蔽	
11	10	9	状态屏蔽 (字节 3 - MSB)	
12	11	10	状态反转屏蔽 (字节 0 - LSB)	
13	12	11	状态反转屏蔽	
14	13	12	状态反转屏蔽	
15	14	13	状态反转屏蔽 (字节 3 - MSB)	
16	15	14	GPI 屏蔽 (字节 0 - LSB)	
17	16	15	GPI 屏蔽	
18	17	16	GPI 屏蔽	
19	18	17	GPI 屏蔽 (字节 3 - MSB)	
20	19	18	GPI 反转屏蔽 (字节 0 - LSB)	
21	20	19	GPI 反转屏蔽	

表 26-41. GPO_CONFIG 命令格式 (续)

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷 索引	说明
22	21	20	GPI 反转屏蔽
23	22	21	GPI 反转屏蔽 (字节 3 - MSB)
24	23	22	GPO 屏蔽 (字节 0 - LSB)
25	24	23	GPO 屏蔽 (字节 1 - MSB)
26	25	24	GPO 反转屏蔽 (字节 0 - LSB)
27	26	25	GPO 反转屏蔽 (字节 1 - MSB)
			AND 路径 1
28 - 47	27 - 46	26 - 45	与 AND 路径 0 相同的配置选项 (20 字节)

26.38.1 输出引脚配置

此字节配置哪个引脚用于此 GPO、其极性以及是否为主动驱动。有关详细信息，请参阅[输入和输出引脚配置](#)。“输入”模式会导致设置无效数据。

26.38.2 置为有效延迟使能

设置此位时，在 GPO 置为有效之前会有延迟（高分辨率或毫秒）。

26.38.3 置为无效延迟使能

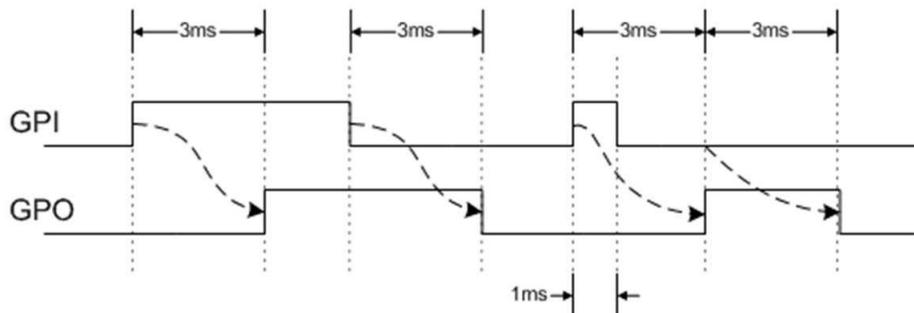
设置此位时，将 GPO 置为无效之前会有一段延迟（高分辨率或毫秒）。

26.38.4 反转 OR 输出

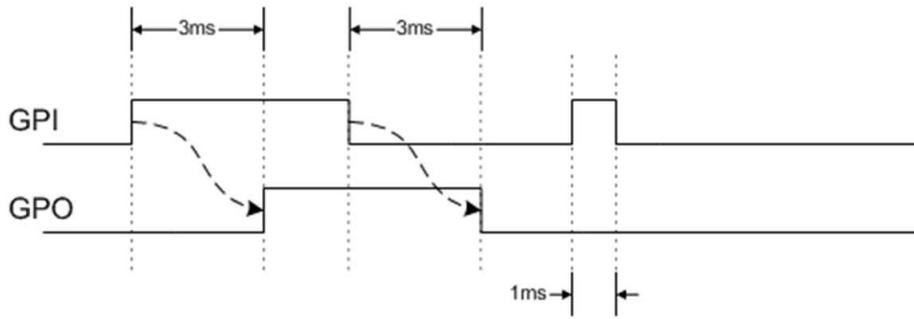
设置此位时，会反转 OR 运算的结果。例如，此函数可用于将 OR 运算更改为 AND 运算， $(a \text{ OR } b) = (a' \text{ AND } b')$ 。

26.38.5 延迟期间忽略输入

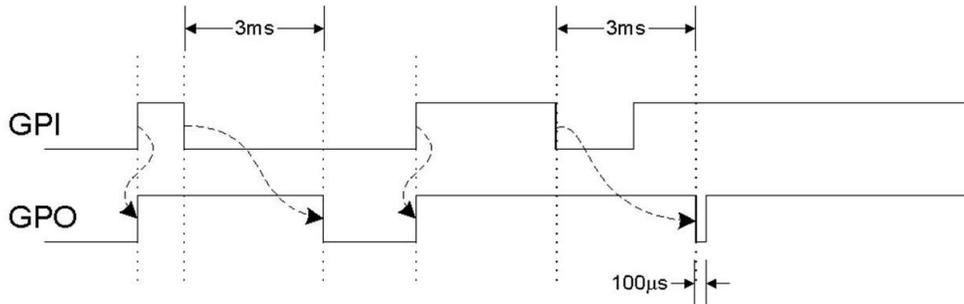
设置此位时，在 GPO 更新延迟期间，会忽略影响 GPO 状态的输入更改。换句话说，无论延迟时间内后续输入状态如何变化，GPO 都会在延迟时间结束时更改状态。例如，如果 GPO 只是在 GPI 的状态之后置为有效和置为无效时延迟 3 毫秒，则时序图如下所示。



如果未设置此位，则在延迟时间结束时会重新评估 GPO 状态。如果在重新评估点输入状态恢复到初始状态，则 GPO 状态不会更改。下面是一个时序图示例。



设置此位时，并且在置为无效时有 3ms 延迟，但在置为有效时没有延迟，时序图示例如下所示。请注意，第二个置为失效至置为有效脉冲仅是 GPI 引脚的采样周期，该周期恰好是 100μs。



26.38.6 反转 AND 输出

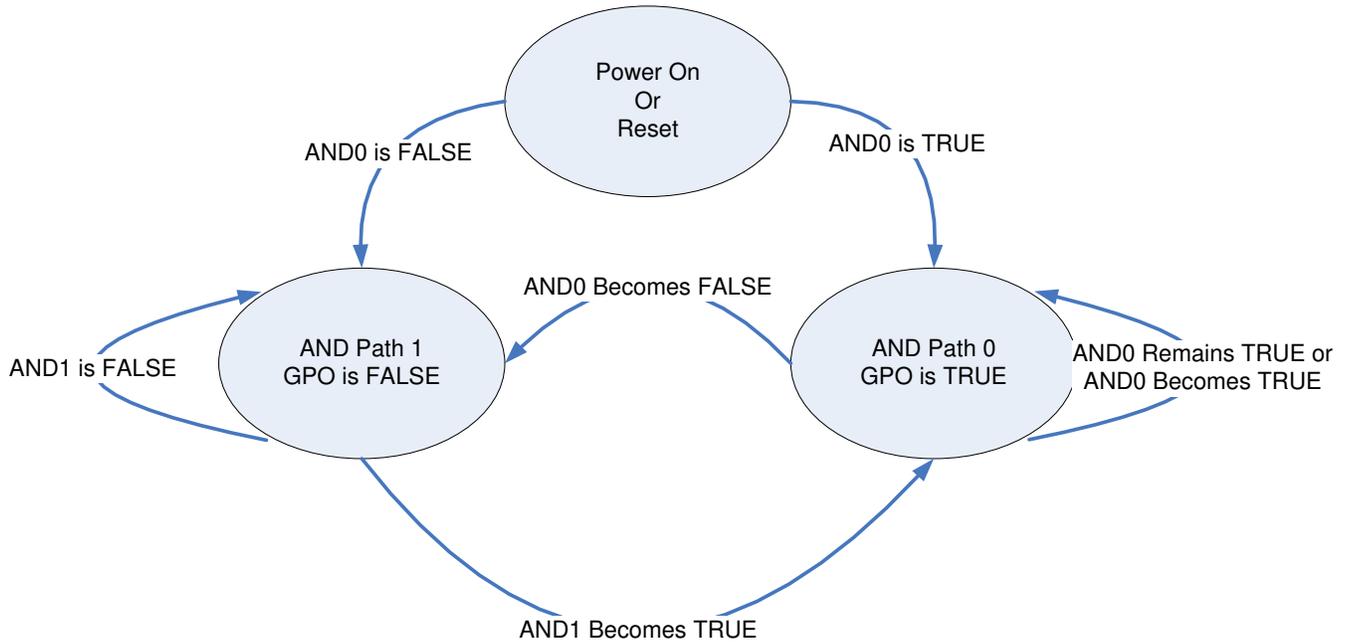
设置此位时，关联的 AND 路径结果在馈送到或门之前反转。例如，此函数可用于将 AND 运算更改为 OR 运算， $(a' \text{ AND } b')$ = $(a \text{ OR } b)$ 。

26.38.7 状态机模式使能

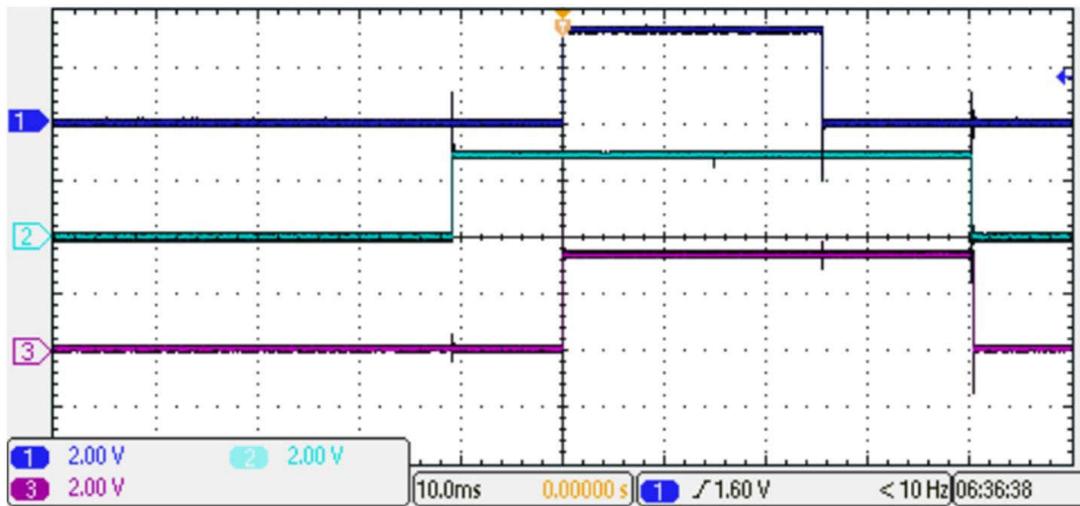
设置此位时，在给定时间仅使用其中一条 AND 路径。当 GPO 逻辑结果当前为 TRUE 时，使用 AND 路径 0 直到结果变为 FALSE。当 GPO 逻辑结果当前为 FALSE 时，使用 AND 路径 1 直到结果变为 TRUE。这提供了一个非常简单的状态机，并允许更复杂的逻辑组合。

备注

器件最初会评估 AND 路径 0。如果为 TRUE，则继续评估 AND 路径 0。如果为 FALSE，则会在下一个评估周期中开始评估 AND 路径 1。GPO 的评估仅在其输入状态发生变化时触发；因此，无法将状态机配置为自激振荡器。



例如，要配置 GPO，使得当两个 GPI 引脚均置为有效并保持置为有效直到这两个 GPI 均置为无效的情况下该 GPO 置为有效，我们需要在 GPO 置为无效时应用 AND 运算并在 GPO 置为有效时应用 OR 运算。如以下示波器图所示，其中波形 1 是 GPI，波形 2 是 GPI，波形 3 是 GPO。



配置此行为的方法是设置“状态机模式使能”、将 AND 路径 0 配置为 (GPI1’ AND GPI2’)，并将 AND 路径 1 配置为 (GPI1 AND GPI2)。

26.38.8 高分辨率延迟计数

将此值乘以 100µs 以定义高分辨率延迟。

26.38.9 毫秒级延迟

此值用于延迟 GPO 的更新。此字节的格式符合节 18.5 中定义的 8 位时间编码。

26.38.10 状态屏蔽

状态屏蔽选择要在给定 AND 路径中使用的页面。

位	31	...	13	12	11	10	9	8
用途	PAGE31	...	PAGE13	PAGE12	PAGE11	PAGE10	PAGE9	PAGE8

位	7	6	5	4	3	2	1	0
用途	PAGE7	PAGE6	PAGE5	PAGE4	PAGE3	PAGE2	PAGE1	PAGE0

如果位设置为 1，则相应的页面状态会在 AND 路径中使用。如果位设置为 0，则相应的页面状态不会在 AND 路径中使用。

26.38.11 状态反转屏蔽

在给定的 AND 路径中使用之前，每个页面的状态可能会反转。如果位设置为 1，则相应的页面状态会反转。将该位设置为 0 则没有作用。

位	31	...	13	12	11	10	9	8
用途	PAGE31	...	PAGE13	PAGE12	PAGE11	PAGE10	PAGE9	PAGE8

位	7	6	5	4	3	2	1	0
用途	PAGE7	PAGE6	PAGE5	PAGE4	PAGE3	PAGE2	PAGE1	PAGE0

26.38.12 GPI 屏蔽

此屏蔽确定用于给定的 AND 路径的 GPI。如果位设置为 1，则相应的 GPI 状态会由 AND 路径使用。如果位设置为 0，则相应的 GPI 状态不会由 AND 路径使用。请参阅 [GPI_CONFIG](#) 命令。

位	31	...	5	4	3	2	1	0
用途	GPI 31	...	GPI 5	GPI 4	GPI 3	GPI 2	GPI 1	GPI 0

26.38.13 GPI 反转屏蔽

此屏蔽确定在用于给定的 AND 路径之前 GPI 状态是否反转。将此位设置为 1 会反转相应的 GPI 状态。将该位设置为 0 则没有作用。

位	31	...	5	4	3	2	1	0
用途	GPI 31	...	GPI 5	GPI 4	GPI 3	GPI 2	GPI 1	GPI 0

26.38.14 GPO 屏蔽

此屏蔽确定前 8 个 GPO 中哪些用于给定的 AND 路径。如果位设置为 1，则相应的 GPO 状态会由 AND 路径使用。如果位设置为 0，则相应的 GPO 状态不会由 AND 路径使用。

备注

GPO 的引脚极性设置不会影响该 GPO 对另一个 GPO 的影响。

位	15	...	5	4	3	2	1	0
用途	GPO 15	...	GPO 5	GPO 4	GPO 3	GPO 2	GPO 1	GPO 0

26.38.15 GPO 反转屏蔽

此屏蔽确定在用于给定的 AND 路径之前 GPO 状态是否反转。如果此位设置为 1，则相应的 GPO 状态会反转。将该位设置为 0 则没有作用。

位	15	...	5	4	3	2	1	0
用途	GPO 15	...	GPO 5	GPO 4	GPO 3	GPO 2	GPO 1	GPO 0

26.38.16 状态类型选择

这些位选择要应用于状态屏蔽的状态类型。每条 AND 路径都可以选择不同的状态类型。

这些 `_LATCH` 版本的状态标志处于锁存状态，只能通过命令 (`CLEAR_FAULTS`) 或 GPI 清除 ([请参阅](#))。不带 `_LATCH` 的版本是条件的实际当前状态。

备注

1. `MARGIN_EN` 和 `MRG_LOW_nHIGH` 状态根据 GPI 引脚 ([请参阅 GPI_CONFIG](#) , [请参阅节 26.39](#)) 或根据 `OPERATION` 命令进行更新。每当 `OPERATION` 命令禁用裕度调节时, `MRG_LOW_nHIGH` 状态都会设置为 `TRUE`。
2. 设置以下状态类型后, 在电源轨关闭然后重新开启之前, 无法清除它们: `TON_MAX_FAULT`、`TOFF_MAX_WARN`、`SEQ_ON_TIMEOUT`、`SEQ_OFF_TIMEOUT`。请注意, 重新定序操作会清除这些状态类型, 因为它会关闭电源轨然后再开启电源轨。
3. 当 `_LATCH` 版本的状态标志被清除时, 即使状态仍然为 `TRUE`, 该状态标志也会保持 `FALSE`。之后, 只有在状态变为 `FALSE` 状态然后再返回到 `TRUE` 状态后, 它才会再次变为 `TRUE`。

表 26-42. 状态类型

编码	状态类型
0	POWER_GOOD
1	MARGIN_EN
2	MRG_LOW_nHIGH
3	VOUT_OV_FAULT
4	VOUT_OV_WARN
5	VOUT_UV_WARN
6	VOUT_UV_FAULT
7	TON_MAX_FAULT
8	TOFF_MAX_WARN
9	IOUT_OC_FAULT
10	IOUT_OC_WARN
11	IOUT_UC_FAULT
12	TEMP_OT_FAULT
13	TEMP_OT_WARN
14	SEQ_ON_TIMEOUT
15	SEQ_OFF_TIMEOUT
16	SYSTEM_WATCHDOG_TIMEOUT
17	VOUT_OV_FAULT_LATCH
18	VOUT_OV_WARN_LATCH
19	VOUT_UV_WARN_LATCH
20	VOUT_UV_FAULT_LATCH
21	TON_MAX_FAULT_LATCH
22	TOFF_MAX_WARN_LATCH
23	IOUT_OC_FAULT_LATCH
24	IOUT_OC_WARN_LATCH
25	IOUT_UC_FAULT_LATCH
26	TEMP_OT_FAULT_LATCH

表 26-42. 状态类型 (续)

编码	状态类型
27	TEMP_OT_WARN_LATCH
28	SEQ_ON_TIMEOUT_LATCH
29	SEQ_OFF_TIMEOUT_LATCH
30	SYSTEM_WATCHDOG_TIMEOUT_LATCH
31	SINGLE_EVENT_UPSET

26.38.17 GPO 配置示例

示例 1 : GPO = POWER_GOOD(0) 和 POWER_GOOD(2) 和 POWER_GOOD(5) 和 POWER_GOOD(7) 和 POWER_GOOD(8)

状态屏蔽 0 = 0x01A3
 状态反转屏蔽 0 = 0x0000
 GPI 屏蔽 0 = 0x00
 状态类型选择 0 = 0
 状态屏蔽 1 = 0x0000
 GPI 屏蔽 1 = 0x00
 状态屏蔽 2 = 0x0000
 GPI 屏蔽 2 = 0x00
 状态屏蔽 3 = 0x0000
 GPI 屏蔽 3 = 0x00

示例 2 : GPO = (NOT POWER_GOOD[0]) 或 (NOT POWER_GOOD[2]) 或 (NOT POWER_GOOD[5]) 或 (NOT POWER_GOOD[7])

状态屏蔽 0 = 0x0001
 状态反转屏蔽 0 = 0x0001
 GPI 屏蔽 0 = 0x00
 状态类型选择 0 = 0
 状态屏蔽 1 = 0x0004
 状态反转屏蔽 1 = 0x0004
 GPI 屏蔽 1 = 0x00
 状态类型选择 1 = 0
 状态屏蔽 2 = 0x0020
 状态反转屏蔽 2 = 0x0020
 GPI 屏蔽 2 = 0x00
 状态类型选择 2 = 0
 状态屏蔽 3 = 0x0080
 状态反转屏蔽 3 = 0x0080
 GPI 屏蔽 3 = 0x00
 状态类型选择 3 = 0

示例 3 : GPO = ((NOT POWER_GOOD[0]) 和 (NOT GPI[3])) 或 ((NOT POWER_GOOD[1]) 和 (NOT GPI[3])) 或 (VOUT_OV_WARN[2] 和 (NOT GPI[3]))

状态屏蔽 0 = 0x0001
 状态反转屏蔽 0 = 0x0001
 GPI 屏蔽 0 = 0x04
 GPI 反转屏蔽 0 = 0x04

状态类型选择 0	=	0
状态屏蔽 1	=	0x0002
状态反转屏蔽 1	=	0x0002
GPI 屏蔽 1	=	0x04
GPI 反转屏蔽 1	=	0x04
状态类型选择 1	=	0
状态屏蔽 2	=	0x0004
状态反转屏蔽 2	=	0x0004
GPI 屏蔽 2	=	0x04
GPI 反转屏蔽 2	=	0x04
状态类型选择 2	=	3
状态屏蔽 3	=	0x0000
GPI 屏蔽 3	=	0x00

示例 4 : GPO = (GPI[0] 和 GPI[2]) 或 (GPI[0] 和 (NOT GPI[4]) AND (NOT GPI[7])
或 GPI[3] 或 GPI[7])

状态屏蔽 0	=	0x0000
GPI 屏蔽 0	=	0x05
GPI 反转屏蔽 0	=	0x00
状态屏蔽 1	=	0x0000
GPI 屏蔽 1	=	0x91
GPI 反转屏蔽 1	=	0x90
状态屏蔽 2	=	0x0000
GPI 屏蔽 2	=	0x04
GPI 反转屏蔽 2	=	0x00
状态屏蔽 3	=	0x0000
GPI 屏蔽 3	=	0x80
GPI 反转屏蔽 3	=	0x00

示例 5 : GPO = VOUT_OV_WARN[1] 和 IOUT_OC_WARN[1]

无法直接实现。应用关系 (a AND b) = (a' OR b)' =>

GPO = NOT ((NOT VOUT_OV_WARN[1]) 或 (NOT IOUT_OC_WARN[1]))

状态屏蔽 0	=	0x0002
状态反转屏蔽 0	=	0x0002
GPI 屏蔽 0	=	0x00
状态类型选择 0	=	4
状态屏蔽 1	=	0x0002
状态反转屏蔽 1	=	0x0002
GPI 屏蔽 1	=	0x00
状态类型选择 1	=	16
状态屏蔽 2	=	0x0000
GPI 屏蔽 2	=	0x00
状态屏蔽 3	=	0x0000
GPI 屏蔽 3	=	0x00

请注意 UCD90120、UCD90124 和 UCD90910) : 第一个适用于整个公式的 NOT , 实际上是通过反向配置 GPO 的极性来处理的。

26.39 (F9h) GPI_CONFIG (MFR_SPECIFIC_41)

此读取/写入块命令可配置输入引脚 (GPI) 的功能。

表 26-43. GPI_CONFIG 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
0			CMD = F9
1	0		BYTE_COUNT =
2	1	0	GPI_1 引脚配置 (引脚 ID)
3	2	1	GPI_1 引脚配置 [7:3] 保留 [2] 极性 [1:0] 模式
4-5	3-4	2-3	GPI_2 引脚配置
6-7	5-6	4-5	GPI_3 引脚配置
8-9	7-8	6-7	GPI_4 引脚配置
10	9	8	GPI_5 引脚配置
12	11	10	GPI_6 引脚配置
14	13	12	GPI_7 引脚配置
16	15	14	GPI_8 引脚配置
18	17	16	GPI_9 引脚配置
20	19	18	GPI_10 引脚配置
22	21	20	GPI_11 引脚配置
24	23	22	GPI_12 引脚配置
26	25	24	GPI_13 引脚配置
28	27	26	GPI_14 引脚配置
30	29	28	GPI_15 引脚配置
32	31	30	GPI_16 引脚配置
34	33	32	GPI_17 引脚配置
36	35	34	GPI_18 引脚配置
38	37	36	GPI_19 引脚配置
40	39	38	GPI_20 引脚配置
42	41	40	GPI_21 引脚配置
44	43	42	GPI_22 引脚配置
46	45	44	GPI_23 引脚配置
48	47	46	GPI_24 引脚配置
50	49	48	GPI_25 引脚配置
52	51	50	GPI_26 引脚配置
54	53	52	GPI_27 引脚配置
56	55	54	GPI_28 引脚配置
58	57	56	GPI_29 引脚配置

表 26-43. GPI_CONFIG 命令格式 (续)

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
60	59	58	GPI_30 引脚配置
62	61	60	GPI_31 引脚配置
64	63	62	GPI_32 引脚配置
66	65	64	故障使能标志 - 字节 0 (LSB)
67	66	65	故障使能标志 - 字节 1
68	67	66	故障使能标志 - 字节 2
69	68	67	故障使能标志 - 字节 3 (MSB)
70	69	68	锁存状态清除引脚选择
71	70	69	“裕度使能” (MRG_EN) 引脚选择
72	71	70	“裕度低/非高” (MRG_LOW_nHIGH) 引脚选择
73	72	71	保留
74	73	72	调试模式引脚选择

26.39.1 GPI 引脚配置

这些字节配置每个 GPI 使用的引脚及其极性。相关详细信息，请参阅 [节 23](#)。“未使用”或“输入”以外的模式会导致此命令被拒绝，并且器件会设置无效数据。

26.39.2 故障使能标志

设置位时，相应 GPI 置为无效将触发配置的故障响应。此故障在 MFR_STATUS 命令中说明（请参阅节 26.33），如果进行相应配置，此故障会被记录（请参阅 LOGGED_FAULT_DETAIL_ENABLES）。当发生 GPI 故障时，PMBALERT# 引脚置为有效。

GPI_FAULT_RESPONSE(0xF4) 仅在此处设置了相应的 GPI 位时有效。

表 26-44. 故障使能位

位	31	...	5	4	3	2	1	0
用途	GPI 32	...	GPI 6	GPI 5	GPI 4	GPI 3	GPI 2	GPI 1

26.39.3 锁存状态清除引脚选择

GPO_CONFIG 命令中的锁存状态类型 (_LATCH) 可以由引脚清除。该输入引脚由此字节选择（请参阅 GPI 选择（仅限 UCD90120 和 UCD90124））。如果此字节的值为 0，则忽略该引脚。此引脚为边沿敏感型。

26.39.4 MRG_EN 引脚选择

裕度调节可通过此字节选择的输入引脚来启用（请参阅 *GPI 选择 (仅限 UCD90120 和 UCD90124)*）。如果此字节的值为 0，则忽略该引脚。

当此引脚置为有效后，所有启用了裕度（请参阅 *MARGIN_CONFIG*，节 26.35）的电源轨都会进入具有裕度的状态（低电平或高电平）。

备注

如果在此字节中选择了一个引脚，则还必须在 *MRG_LOW_nHIGH* 字节中选择另一个引脚。

26.39.5 MRG_LOW_nHIGH 引脚选择

裕度调节电平（低或高）可通过此字节选择的输入引脚来选择（请参阅 *GPI 选择 (仅限 UCD90120 和 UCD90124)*）。如果此字节的值为 0，则忽略该引脚。

当此引脚置为有效并且 *MRG_EN* 引脚置为有效时，所有启用了裕度调节的电源轨（请参阅 *GPI 选择 (仅限 UCD90120 和 UCD90124)*）都会进入低裕度状态。

当此引脚未置为有效而 *MRG_EN* 引脚置为有效时，所有启用了裕度调节的电源轨都将进入高裕度状态。

26.39.6 故障引脚的最大干扰时间

此干扰时间的功能和格式与节 26.38.11 中定义的 *GPI* 最大干扰的功能和格式完全相同。

26.39.7 GPI 调试模式引脚选择

GPI 调试功能可通过此字节标识的输入引脚启用。如果字节值为 0，则忽略该引脚。在调试模式下，器件不应在发生任何故障/警告时激活 *PMBus ALERT* 引脚，不应应对任何故障响应做出响应，也不应记录任何故障。该功能主要用于调试目的，不建议在最终生产阶段使用。

以下故障和警告受调试模式影响：

VOUT_OV_FAULT	TON_MAX	IOUT_UC*	SYSTEM_WATCHDOG_TIMEOUT
VOUT_OV_WARNING	TOFF_MAX Warning	OT_FAULT*	RESEQUENCE_ERROR
VOUT_UV_FAULT	IOUT_OC_FAULT*	OT_WARNING*	SLAVE_FAULT
VOUT_UV_WARNING	IOUT_OC_WARNING*	SEQ_ON_TIMEOUT	SEQ_OFF_TIMEOUT
所有 GPI 置为无效			
* 这些故障和警告仅在器件支持温度或电流时可用。			

当调试模式开启时，电源轨序列开启/关闭依赖条件会被忽略；一旦序列开启/关闭超时结束，无论超时操作如何，电源轨都会相应地定序开启或关闭，如果定序开启/关闭超时值设置为 0，则电源轨会立即定序开启或关闭。当调试模式开启时，故障引脚不会将故障总线拉至低电平。此外，当调试模式打开时，受这些事件影响的 *LGPO* 会恢复初始状态。

26.40 (FAh) GPIO_SELECT (MFR_SPECIFIC_42)

此读取/写入字节命令确定 *GPIO_CONFIG* 命令应用于哪个 *GPIO*。有关有效引脚 ID 的列表，请参阅表 23-1。

26.41 (FBh) GPIO_CONFIG (MFR_SPECIFIC_43)

此读取/写入字节命令配置由 *GPIO_SELECT* 命令标识的 *GPIO*。状态位是只读的并提供引脚的当前状态。*Out_Enable* 位决定引脚是输出（1 - 主动驱动）还是输入（0 - 高阻抗）。*Out_Value* 位决定引脚配置为输出时的状态。使能位是一个标志，指示是否处理此命令。当使能位清零时，此命令会被忽略。要暂时更改为输出引脚状态，请写入此命令两次。在第一次写入时，将使能位设置为 1，以便可以应用更改。在第二次写入时，将使能位设置为 0。这就会更改引脚状态；并且由于使能位为 0，*STORE_DEFAULT_ALL* 命令在将 *RAM* 存储中的配置存储到闪存时会忽略此命令。因而，新临时配置不会覆盖默认配置。

位	7	6	5	4	3	2	1	0
用途	保留	保留	保留	保留	状态	Out_Value	Out_Enable	启用

使用 `STORE_DEFAULT_ALL` 命令将此配置存储到非易失性存储器中。如果该引脚配置为输出，则在复位或下电上电后，引脚可能需要很短的时间才能达到配置状态。

备注

配置同时正在被另一个功能（使能等）使用的引脚，可能会导致意外和不合适的行为。

26.42 (FCh) MISC_CONFIG (MFR_SPECIFIC_44)

此读取/写入块命令配置其他命令未涵盖的功能。

表 26-45. MISC_CONFIG 命令格式

字节编号 (写入)	字节编号 (读取)	有效载荷索引	说明
0			CMD = FC
1	0		BYTE_COUNT = 8
2	1	0	其他配置字节
3	2	1	重新定序之间的时间
4	3	2	外部基准电压 (低字节)
5	4	3	外部基准电压 (高字节)
6	5	4	重新定序电压轨屏蔽 (字节 0 - LSB)
7	6	5	重新定序电压轨屏蔽 (字节 1)
8	7	6	重新定序电压轨屏蔽 (字节 2)
9	8	7	重新定序电压轨屏蔽 (字节 3 - MSB)

26.42.1 其他配置字节

其他配置字节的位定义如表 26-46 所示。

表 26-46. 其他配置字节

位	名称	说明
7	继续重新定序	设置此位时，器件尝试重新定序的次数没有限制。“最大重新定序次数”值不适用。
6	重新定序中止	如果在重新定序期间发生 TOFF_MAX_WARN 警告，请停止重新定序操作
5:4	最大重新定序次数	尝试重新定序的最大次数。 b'00 - 1 次 b'01 - 2 次 b'10 - 3 次 b'11 - 4 次 有关更多信息，请参阅节 26.25.2。
3	从器件	设置此位时，器件是采用外部同步时钟的从器件。仅当此位处于多芯片用例下时才有效。
2	启用日志 FIFO	设置此位时，全部或部分 LOGGED_FAULT_DETAIL 被视为 FIFO，具体取决于“FIFO 完整日志”位。
1	外部 ADC 基准	设置此位时，外部 ADC 基准 (2.4V - 3.0V) 用于 ADC。更改此位后，需要复位器件。
0	外部晶体使能振	设置并存储此位时，UCD91xxx 器件将在下一次重新启动时尝试使用低频 (32.768kHz) 晶体。

26.42.2 重新定序之间的时间

此字节的格式如节 18.5 所示。

26.42.3 外部基准电压

此字段定义外部 ADC 基准电压并遵循节 18.2 中定义的 LINEAR16 格式。基准电压必须介于 2.4V 和 3V 之间，分辨率为 0.01V。

备注

如果要启用外部基准电压，则应在写入 MONITOR_CONFIG 命令之前完成，否则监控通道将默认使用内部基准电压。

26.42.4 Resequenece_rails_mask

页面屏蔽由四个字节组成，它们的位定义如下：

位	31	...	5	4	3	2	1	0
用途	PAGE31	...	PAGE5	PAGE4	PAGE3	PAGE2	PAGE1	PAGE0

备注

上表假设器件支持 32 个电源轨。

每个位选择在执行重新定序时不检查哪些页面的 POWER_GOOD_OFF 和 TOFF_WARN 状态。当相应页面位设置为 1 时，重新定序引擎不会检查其 POWER_GOOD_OFF 和 TOFF_WARN 状态。当相应页面位设置为 0 时，重新定序引擎会检查其 POWER_GOOD_OFF 和 TOFF_WARN 状态。

26.43 (FDh) DEVICE_ID (MFR_SPECIFIC_45)

此只读块读取命令返回长度最多 32 个字符的 ASCII 字符串。它分为三个或四个部分，由竖线字符 (“|”) 分隔。每个部分的格式在未来的版本中可能会改变；因此，支持工具不得依赖于特定的字节对齐。而是，必须识别使用竖线和句点进行分隔的部分与子部分。

1. 第一部分是硬件器件 ID (例如 “UCD91xxx”) 。
2. 第二部分包含固件版本信息。

其格式为 “A.BB.C.DDDD” ，其中：

- A = 主要版本级别 (1 个字符)
- BB = 次要版本级别 (2 个字符)
- C = 子版本 (1 个字符)
- DDDD = 内部版本号 (4 个字符)

每次正式固件发布后，主要和次要版本号都会立即递增。

子版本字段允许从主开发路径转到基于旧版本的内部版本更新。

每次编译固件时，内部版本号都会自动更新。更新版本级别时，该值不会复位为 0。固件的几个预发布版本可以具有相同的主要版本、次要版本和子版本号。这些不同的预发布版本可通过内部版本号进行区分。

3. 第三部分包含固件编译日期。
该日期采用 YYMMDD 格式，类似于 MFR_DATE 命令。
4. 可选的第四部分可以包含特定于器件的信息。

示例：典型的 DEVICE_ID 字符串是 “UCD91xxx|2.04.0.0069|070509”。在本例中：

硬件器件	= UCD91xxx
固件主要版本	= 2
固件次要版本	= 04
固件子版本	= 0
固件内部版本号	= 69
固件构建日期	= 2007 年 5 月 9 日

27 范围检查和限制

表 27-1 显示了所有受支持 PMBus 命令的数值限制。

表 27-1. PMBus 命令的范围和限制

代码 (十六进制)	命令	最小值	最大值	硬编码 默认值	注释
0	PAGE	0	13 或 255	0	
1	OPERATION	参阅说明	参阅说明	0	此参数的七个有意义的值为 0x00、0x40、0x80、0x94、0x98、0xA4 和 0xA8。
2	ON_OFF_CONFIG	参阅说明	参阅说明	0	>0x20 无效，接受所有其他值
3	CLEAR_FAULTS	不适用	不适用	不适用	只写
4	PHASE				不支持
05-0F	保留				
10	WRITE_PROTECT				不支持
11	STORE_DEFAULT_ALL	不适用	不适用	不适用	只写
12	RESTORE_DEFAULT_ALL	不适用	不适用	不适用	只写
13	STORE_DEFAULT_CODE				不支持
14	RESTORE_DEFAULT_CODE				不支持
15	STORE_USER_ALL				不支持
16	RESTORE_USER_ALL				不支持
17	STORE_USER_CODE				不支持
18	RESTORE_USER_CODE				不支持
19	CAPABILITY	不适用	不适用	0xB0	只读
1A	QUERY				不支持
1B-1F	保留				
20	VOUT_MODE	-16	15	0	5 位，二进制补码指数
21	VOUT_COMMAND	0	参阅说明	0	取决于 VOUT_MODE
22	VOUT_TRIM				不支持
23	VOUT_CAL_OFFSET				不支持
24	VOUT_MAX				不支持
25	VOUT_MARGIN_HIGH	0	参阅说明	0	取决于 VOUT_MODE
26	VOUT_MARGIN_LOW	0	参阅说明	0	取决于 VOUT_MODE
27	VOUT_TRANSITION_RATE				不支持
28	VOUT_DROOP				不支持
29	VOUT_SCALE_LOOP				不支持
2A	VOUT_SCALE_MONITOR	0	参阅说明	0	取决于 VOUT_MODE
2B-2F	保留				
30	COEFFICIENTS				不支持
31	POUT_MAX				不支持
32	MAX_DUTY				不支持
33	FREQUENCY_SWITCH				不支持
34	保留				
35	VIN_ON				不支持
36	VIN_OFF				不支持
37	INTERLEAVE				不支持
38	IOUT_CAL_GAIN	0.6113	20000	0	由于内部分辨率的原因，20000 到 40031 之间的数字会得到 20000。
39	IOUT_CAL_OFFSET	-511.5	511.5	0	
3A	FAN_CONFIG_1_2				不支持
3B	FAN_COMMAND_1				不支持
3C	FAN_COMMAND_2				不支持
3D	FAN_CONFIG_3_4				不支持

表 27-1. PMBus 命令的范围和限制 (续)

代码 (十六进制)	命令	最小值	最大值	硬编码 默认值	注释
3E	FAN_COMMAND_3				不支持
3F	FAN_COMMAND_4				不支持
40	VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0	参阅说明	0	取决于 VOUT_MODE
41	VOUT_OV_FAULT_RESPONSE				请参阅 FAULT_RESPONSES 命令
42	VOUT_OV_WARN_LIMIT	0	参阅说明	0	取决于 VOUT_MODE
43	VOUT_UV_WARN_LIMIT	0	参阅说明	0	取决于 VOUT_MODE
44	VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0	参阅说明	0	取决于 VOUT_MODE
45	VOUT_UV_FAULT_RESPONSE				请参阅 FAULT_RESPONSES 命令
46	IOUT_OC_FAULT_LIMIT	-511.5	511.5	0	
47	IOUT_OC_FAULT_RESPONSE				请参阅 FAULT_RESPONSES 命令
48	IOUT_OC_LV_FAULT_LIMIT				不支持
49	IOUT_OC_LV_FAULT_RESPONSE				不支持
4A	IOUT_OC_WARN_LIMIT	-511.5	511.5	0	
4B	IOUT_UC_FAULT_LIMIT	-511.5	511.5	0	
4C	IOUT_UC_FAULT_RESPONSE				请参阅 FAULT_RESPONSES 命令
4D	保留				
4E	保留				
4F	OT_FAULT_LIMIT	-255.75	255.75	0	
50	OT_FAULT_RESPONSE				请参阅 FAULT_RESPONSES 命令
51	OT_WARN_LIMIT	-255.75	255.75	0	
52	UT_WARN_LIMIT				不支持
53	UT_FAULT_LIMIT				不支持
54	UT_FAULT_RESPONSE				不支持
55	VIN_OV_FAULT_LIMIT				不支持
56	VIN_OV_FAULT_RESPONSE				不支持
57	VIN_OV_WARN_LIMIT				不支持
58	VIN_UV_WARN_LIMIT				不支持
59	VIN_UV_FAULT_LIMIT				不支持
5A	VIN_UV_FAULT_RESPONSE				不支持
5B	IIN_OC_FAULT_LIMIT				不支持
5C	IIN_OC_FAULT_RESPONSE				不支持
5D	IIN_OC_WARN_LIMIT				不支持
5E	POWER_GOOD_ON	0	参阅说明	0	取决于 VOUT_MODE
5F	POWER_GOOD_OFF	0	参阅说明	0	取决于 VOUT_MODE
60	TON_DELAY	0	3276	0	
61	TON_RISE				不支持
62	TON_MAX_FAULT_LIMIT	0	3276	0	
63	TON_MAX_FAULT_RESPONSE				请参阅 FAULT_RESPONSES 命令
64	TOFF_DELAY	0	3276	0	
65	TOFF_FALL				不支持
66	TOFF_MAX_WARN_LIMIT	0	3276 或 0x7FFF	0	0x7FFF 是一个特殊值, 意味着没有限制。请参阅 PMBus 规范的第 16.7 节。
67	保留				
68	POUT_OP_FAULT_LIMIT				不支持
69	POUT_OP_FAULT_RESPONSE				不支持
6A	POUT_OP_WARN_LIMIT				不支持
6B	PIN_OP_WARN_LIMIT				不支持
6C-77	保留				
78	STATUS_BYTE				只读

表 27-1. PMBus 命令的范围和限制 (续)

代码 (十六进制)	命令	最小值	最大值	硬编码 默认值	注释
79	STATUS_WORD				只读
7A	STATUS_VOUT				只读
7B	STATUS_IOUT				只读
7C	STATUS_INPUT				不支持
7D	STATUS_TEMPERATURE				只读
7E	STATUS_CML				只读
7F	STATUS_OTHER				不支持
80	STATUS_MFR_SPECIFIC				不支持
81	STATUS_FANS_1_2				不支持
82	STATUS_FANS_3_4				不支持
83-87	保留				
88	READ_VIN				不支持
89	READ_IIN				不支持
8A	READ_VCAP				不支持
8B	READ_VOUT				只读
8C	READ_IOUT				只读
8D	READ_TEMPERATURE_1				只读
8E	READ_TEMPERATURE_2				只读
8F	READ_TEMPERATURE_3				不支持
90	READ_FAN_SPEED_1				不支持
91	READ_FAN_SPEED_2				不支持
92	READ_FAN_SPEED_3				不支持
93	READ_FAN_SPEED_4				不支持
94	READ_DUTY_CYCLE				不支持
95	READ_FREQUENCY				不支持
96	READ_POUT				不支持
97	READ_PIN				不支持
98	PMBUS_REVISION				只读
99	MFR_ID	不适用	不适用	参阅说明	默认为空字符串, 全为零
9A	MFR_MODEL	不适用	不适用	参阅说明	默认为空字符串, 全为零
9B	MFR_REVISION	不适用	不适用	参阅说明	默认为空字符串, 全为零
9C	MFR_LOCATION	不适用	不适用	参阅说明	默认为空字符串, 全为零
9D	MFR_DATE	不适用	不适用	参阅说明	默认为空字符串, 全为零
9E	MFR_SERIAL	不适用	不适用	参阅说明	默认为空字符串, 全为零
9F	保留				
A0	MFR_VIN_MIN				不支持
A1	MFR_VIN_MAX				不支持
A2	MFR_IIN_MAX				不支持
A3	MFR_PIN_MAX				不支持
A4	MFR_VOUT_MIN				不支持
A5	MFR_VOUT_MAX				不支持
A6	MFR_IOUT_MAX				不支持
A7	MFR_POUT_MAX				不支持
A8	MFR_TAMBIENT_MAX				不支持
A9	MFR_TAMBIENT_MIN				不支持
AA-AF	保留				
B0-BF	USER_DATA_00 -USER_DATA_15				不支持
C0-CF	保留				
D0	SEQ_TIMEOUT(MFR_SPECIFIC_00)	0	3276	0	

表 27-1. PMBus 命令的范围和限制 (续)

代码 (十六进制)	命令	最小值	最大值	硬编码 默认值	注释
D1	VOUT_CAL_MONITOR (MFR_SPECIFIC_01)	参阅说明	参阅说明	0	取决于 VOUT_MODE (请注意, 此参数被视为有符号变量)
D2	SYSTEM_RESET_CONFIG (MFR_SPECIFIC_02)	不适用	不适用	0	
D3	SYSTEM_WATCHDOG_CONFIG (MFR_SPECIFIC_03)	不适用	不适用	0	
D4	SYSTEM_WATCHDOG_RESET (MFR_SPECIFIC_04)	不适用	不适用	0	
D5	MONITOR_CONFIG (MFR_SPECIFIC_05)	不适用	不适用	0	
D6	NUM_PAGES (MFR_SPECIFIC_06)	0	视器件而定	0	只读
D7	RUN_TIME_CLOCK (MFR_SPECIFIC_07)	不适用	不适用	0	
D8	RUN_TIME_CLOCK_TRIM (MFR_SPECIFIC_08)	不适用	不适用	0	
D9	ROM_MODE (MFR_SPECIFIC_09)	不适用	不适用	不适用	只写
DA	USER_RAM_00 (MFR_SPECIFIC_10)	0	255	0	
DB	SOFT_RESET (MFR_SPECIFIC_11)	不适用	不适用	不适用	只写
DC	RESET_COUNT (MFR_SPECIFIC_12)	0	65535	0	
DD	PIN_SELECTED_RAIL_STATES (MFR_SPECIFIC_13)	不适用	不适用	0	
DE	RESEQUENCE (MFR_SPECIFIC_14)	0	0xFFFF	不适用	只写
DF	CONSTANTS (MFR_SPECIFIC_15)	不适用	不适用	不适用	只读
E0	PWM_SELECT (MFR_SPECIFIC_16)	0	12	0	
E1	PWM_CONFIG (MFR_SPECIFIC_17)	不适用	不适用	0	
E2	PARAM_INFO (MFR_SPECIFIC_18)	不适用	不适用	0	检查索引以验证它是否指向有效基地址
E3	PARAM_VALUE (MFR_SPECIFIC_19)	不适用	不适用	0	
E4	TEMPERATURE_CAL_GAIN (MFR_SPECIFIC_20)	-1638	1638	0	
E5	TEMPERATURE_CAL_OFFSET (MFR_SPECIFIC_21)	-255.75	255.75	0	
E6	SET_BREAKPOINTS (MFR_SPECIFIC_22)	不适用	不适用	0	
E7	DEBUG_CONTINUE (MFR_SPECIFIC_23)	不适用	不适用	0	
E8	(MFR_SPECIFIC_24)	不适用	不适用	0	
E9	FAULT_RESPONSES (MFR_SPECIFIC_25)	不适用	不适用	0	
EA	LOGGED_FAULTS (MFR_SPECIFIC_26)	不适用	不适用	不适用	只有有效写入才为全零。
EB	LOGGED_FAULT_DETAIL_INDEX (MFR_SPECIFIC_27)	0	视器件而定	0	
EC	LOGGED_FAULT_DETAIL (MFR_SPECIFIC_28)	不适用	不适用	0	只读
ED	LOGGED_PAGE_PEAKS (MFR_SPECIFIC_29)	不适用	不适用	0	只有有效写入才为全零。
EE	LOGGED_COMMON_PEAKS (MFR_SPECIFIC_30)	不适用	不适用	0	只有有效写入才为全零。
EF	LOGGED_FAULT_DETAIL_ENABLES (MFR_SPECIFIC_31)	不适用	不适用	参阅说明	默认情况下启用所有日志记录
F0	EXECUTE_FLASH (MFR_SPECIFIC_32)	不适用	不适用	0	只写
F3	MFR_STATUS (MFR_SPECIFIC_35)	不适用	不适用	0	
F4	GPI_FAULT_RESPONSES (MFR_SPECIFIC_36)	不适用	不适用	0	
F5	MARGIN_CONFIG (MFR_SPECIFIC_37)	不适用	不适用	0	
F6	SEQ_CONFIG (MFR_SPECIFIC_38)	不适用	不适用	0	

表 27-1. PMBus 命令的范围和限制 (续)

代码 (十六进制)	命令	最小值	最大值	硬编码 默认值	注释
F7	GPO_CONFIG_INDEX (MFR_SPECIFIC_39)	0	12	0	
F8	GPO_CONFIG (MFR_SPECIFIC_40)	不适用	不适用	0	
F9	GPI_CONFIG (MFR_SPECIFIC_41)	不适用	不适用	0	
FA	GPIO_SELECT (MFR_SPECIFIC_42)	0	不适用	0	
FB	GPIO_CONFIG (MFR_SPECIFIC_43)	不适用	不适用	0	
FC	MISC_CONFIG (MFR_SPECIFIC_44)	不适用	不适用	0	
FD	DEVICE_ID (MFR_SPECIFIC_45)	不适用	不适用	视器件而定	
FE	Mfr_Specific_Extended_Command				不支持
FF	PMBUS_Extended_Command				不支持

28 术语表

- ACK**：确认 - 表示 PMBus 已正确接收消息。
- ADC**：模数转换器 - 将模拟电压转换为可用于监控或控制的数字计数。
- DAC**：数模转换器
- DFlash**：数据闪存存储器 - 用于存储 PMBus 设置的非易失性存储器。在唤醒期间，DFlash 中的值会自动复制到 RAM。
- FPWM**：快速脉宽调制引脚。这些引脚的频率能够高于其他 PWM 引脚。
- GPI**：通用输入
- GPIO**：通用输入/输出
- GPO**：通用输出
- NACK**：非确认 - PMBus 消息传输中发生了错误。
- PFlash**：程序闪存 - 用于存储 UCD91xxx 主固件的非易失性存储器。
- PMBus**：电源管理总线 - 一种开放式标准协议，定义了一种与使用 I²C 物理接口的电源转换器件进行通信的方法。
- PWM**：脉宽调制或脉宽调制器
- RAM**：随机存取存储器 - 用于保存 PMBus 设置和内部变量的易失性存储器。除非存储到数据闪存中，否则 PMBus 设置会在复位后丢失。
- ROM**：只读存储器 - 用于 UCD91xxx 启动算法和一些常见数据表的非易失性存储器。

29 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

日期	修订版本	注释
2025 年 12 月	*	初始发行版

重要通知和免责声明

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月