

高等院校

电子信息应用型

规划教材

本科高校教学质量工程——自动化专业综合改革试点项目成果

# DSP原理及应用实例 (TMS320F28335)

苗敬利 主编

耿 华 王艳芬 王书强 副主编

2



清华大学出版社



## 内 容 简 介

本书以 TMS320F28335 芯片为例,系统介绍了 DSP 控制器的结构原理、中断系统及应用、GPIO 通用输入输出寄存器、增强型脉宽调制模块、捕获模块、ADC 转换模块、增强型 CAN 控制器、无刷直流电动机控制。每章都结合应用实例,配有思考题。

本书可作为自动化、电气工程及其自动化、机电一体化等专业的本科生和研究生相关课程的教材,也可作为电力电子产品和数字信号处理器应用开发人员的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

DSP 原理及应用实例: TMS320F28335/苗敬利主编. —北京:清华大学出版社,2020.1  
高等院校电子信息应用型规划教材  
ISBN 978-7-302-52232-4

I. ①D… II. ①苗… III. ①数字信号处理 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 018384 号

责任编辑:刘翰鹏

封面设计:傅瑞学

责任校对:李梅

责任印制:宋林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795764

印 装 者:三河市少明印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:12.5

版 次:2020年1月第1版

定 价:39.00元

字 数:282千字

印 次:2020年1月第1次印刷

产品编号:078716-01

DSP(数字信号处理器)是一种特别适合进行数字信号处理运算的微处理器,其主要应用是实时快速实现各种数字信号处理。作为规模较大的 DSP 供应生产商, TI 生产的 TMS320 系列以强大的控制、处理信号能力和高性价比的优势以及相对易开发的特点,具有极高的市场占有率。TMS320F28335 是 TMS320 系列中一款用于控制的高性能、多功能、高性价比的 32 位浮点 DSP。它整合了 DSP 和微控制器的较佳特性,片内集成了 A/D 转换模块、SCI 通信接口、SPI 外设接口、eCAN 总线通信模块、看门狗电路、通用数字 I/O 接口、多通道缓冲串口、外部中断接口等多种功能模块,为用户采用单芯片实现高性能控制系统的设计提供了解决方案。目前, TMS320F28335 越来越多地应用于电动机控制、多轴运动控制、机器人控制、数字电源、汽车电子及通信设备中。

本书是在严格参考 TI 数据手册的基础上,结合作者近几年从事 DSP 教学和科研工作的实践经验,以及自身学习过程中曾经遇到的问题编写而成。本书以 TMS320F28335 DSP 的应用为主线,详细介绍了 DSP 芯片的硬件结构、外设模块的工作原理,在介绍各个外设功能模块的同时,提供了相应的应用实例和详细的 C 语言程序,以便读者更好地理解外设模块的工作原理,并快速掌握其应用方法。本书注重培养读者解决实际问题的能力。

本书未局限于特定的目标开发板,目前市场上 F28335 开发板虽然种类繁多,但都有典型的接口,本书的应用实例均基于典型的接口。

本书由苗敬利担任主编,耿华、王艳芬、王书强担任副主编。

由于编者水平有限,虽然尽力完善,书中仍难免存在不足之处,恳请大家批评、指正。

编者

2019 年 8 月

# CONTENTS

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第 1 章 绪论                   | 1  |
| 1.1 DSP 芯片简介               | 1  |
| 1.1.1 DSP 的功能和特点           | 1  |
| 1.1.2 TI 公司典型 DSP 产品       | 2  |
| 1.1.3 TMS320F28x 系列概述      | 3  |
| 1.2 TMS320F2833x 简介        | 3  |
| 1.2.1 芯片的封装                | 3  |
| 1.2.2 芯片的引脚功能              | 4  |
| 1.3 DSP 在运动控制系统中的应用        | 15 |
| 1.3.1 运动控制技术               | 15 |
| 1.3.2 电动机运动控制系统的实现         | 16 |
| 习题及思考题                     | 17 |
| 第 2 章 DSP 的结构原理            | 18 |
| 2.1 TMS320F2833x DSP 的内部结构 | 18 |
| 2.1.1 CPU                  | 19 |
| 2.1.2 系统控制模块               | 19 |
| 2.1.3 片上存储器                | 19 |
| 2.1.4 片上外设                 | 21 |
| 2.2 时钟和系统控制                | 22 |
| 2.2.1 振荡器和锁相环              | 22 |
| 2.2.2 系统控制与外设时钟            | 24 |
| 2.2.3 看门狗模块                | 25 |
| 2.3 时钟控制相关寄存器              | 28 |
| 2.4 CPU 定时器                | 32 |
| 2.4.1 定时器的结构               | 33 |
| 2.4.2 定时时间定量计算             | 33 |
| 习题及思考题                     | 36 |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| <b>第 3 章 中断系统及应用</b> .....         | 37 |
| 3.1 中断系统的三级中断机制 .....              | 38 |
| 3.1.1 外设级 .....                    | 38 |
| 3.1.2 PIE 级 .....                  | 39 |
| 3.1.3 CPU 级 .....                  | 41 |
| 3.2 CPU 中断 .....                   | 42 |
| 3.2.1 CPU 中断向量表 .....              | 42 |
| 3.2.2 CPU 中断寄存器 .....              | 43 |
| 3.2.3 可屏蔽中断的响应过程 .....             | 44 |
| 3.3 PIE 中断 .....                   | 45 |
| 3.3.1 PIE 中断向量表 .....              | 45 |
| 3.3.2 PIE 中断寄存器 .....              | 49 |
| 3.4 CPU 定时器 0 中断及应用 .....          | 53 |
| 3.4.1 定时器中断途径 .....                | 53 |
| 3.4.2 定时器相关寄存器 .....               | 53 |
| 3.4.3 CPU 定时器 0 中断应用实例 .....       | 55 |
| 习题及思考题 .....                       | 57 |
| <b>第 4 章 GPIO 通用输入/输出寄存器</b> ..... | 58 |
| 4.1 GPIO 工作原理 .....                | 58 |
| 4.2 GPIO 的输入限制 .....               | 59 |
| 4.3 GPIO 寄存器及功能 .....              | 60 |
| 4.4 GPIO 应用实例 .....                | 68 |
| 习题及思考题 .....                       | 70 |
| <b>第 5 章 增强型脉宽调制模块</b> .....       | 71 |
| 5.1 增强型脉宽调制模块概述 .....              | 71 |
| 5.2 ePWM 模块结构 .....                | 73 |
| 5.2.1 时基子模块 TB .....               | 73 |
| 5.2.2 计数比较子模块 CC .....             | 78 |
| 5.2.3 动作子模块 AQ .....               | 78 |
| 5.2.4 死区子模块 DB .....               | 82 |
| 5.2.5 斩波子模块 PC .....               | 84 |
| 5.2.6 错误控制子模块 TZ .....             | 84 |
| 5.2.7 事件触发子模块 ET .....             | 85 |
| 5.3 ePWM 模块相关寄存器 .....             | 85 |
| 5.4 ePWM 模块应用实例 .....              | 96 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 习题及思考题                   | 97  |
| <b>第 6 章 捕获模块</b>        | 98  |
| 6.1 增强型 eCAP 模块          | 98  |
| 6.1.1 捕获模式               | 99  |
| 6.1.2 APWM 工作模式          | 101 |
| 6.2 eCAP 模块寄存器           | 102 |
| 6.3 eCAP 模块应用实例          | 112 |
| 6.4 eQEP 模块              | 115 |
| 6.4.1 eQEP 模块结构          | 116 |
| 6.4.2 eQEP 模块看门狗         | 119 |
| 6.4.3 eQEP 模块寄存器         | 119 |
| 6.4.4 eQEP 模块实例          | 122 |
| 习题及思考题                   | 124 |
| <b>第 7 章 ADC 转换模块</b>    | 125 |
| 7.1 F2833x 的 ADC 模块      | 125 |
| 7.1.1 ADC 模块的特点          | 126 |
| 7.1.2 ADC 的时钟频率和采样频率     | 127 |
| 7.2 ADC 模块的工作方式          | 127 |
| 7.2.1 ADC 模块的排序方式        | 128 |
| 7.2.2 ADC 模块的采样方式        | 130 |
| 7.3 ADC 模块的中断            | 136 |
| 7.4 ADC 模块电气特性           | 138 |
| 7.5 ADC 模块寄存器            | 139 |
| 7.6 ADC 模块应用实例           | 145 |
| 习题及思考题                   | 147 |
| <b>第 8 章 增强型 CAN 控制器</b> | 148 |
| 8.1 eCAN 模块概述            | 148 |
| 8.2 eCAN 网络与功能模块         | 148 |
| 8.2.1 CAN 总线数据格式         | 148 |
| 8.2.2 eCAN 控制器           | 149 |
| 8.2.3 消息邮箱               | 150 |
| 8.3 eCAN 模块寄存器           | 151 |
| 8.4 eCAN 模块的应用           | 162 |
| 8.4.1 CAN 网络接口           | 162 |
| 8.4.2 寄存器的配置             | 163 |

|                        |                |     |
|------------------------|----------------|-----|
| 8.5                    | eCAN 模块应用实例    | 164 |
|                        | 习题及思考题         | 171 |
| <b>第 9 章 无刷直流电动机控制</b> |                |     |
| 9.1                    | 无刷直流电动机系统的基本结构 | 172 |
| 9.1.1                  | 无刷直流电动机本体      | 172 |
| 9.1.2                  | 位置传感器          | 173 |
| 9.1.3                  | 电子开关电路         | 174 |
| 9.2                    | 无刷直流电动机的基本原理   | 174 |
| 9.3                    | 控制方法           | 176 |
| 9.4                    | 无刷直流电动机调速系统    | 177 |
| 9.4.1                  | PWM 信号的产生      | 178 |
| 9.4.2                  | 驱动芯片           | 178 |
| 9.4.3                  | 逆变器            | 179 |
| 9.4.4                  | 检测电路           | 180 |
| 9.5                    | 软件结构设计         | 181 |
| 9.6                    | 无刷直流电动机控制系统实例  | 182 |
|                        | 习题及思考题         | 187 |
| <b>参考文献</b>            |                |     |
|                        |                | 188 |

## 绪 论

### 1.1 DSP 芯片简介

DSP 是 Digital Signal Processing 的缩写,同时也是 Digital Signal Processor 的缩写。前者是指数字信号处理技术,后者是指数字信号处理器。在本书中,DSP 是指数字信号处理器。DSP 数字信号处理器是一种专门用于数字信号处理的片上计算机系统。微处理器的发展经历了单板计算机、单片计算机的历程,DSP 则是一种高性能的片上计算机系统。它除了利用大量的新技术、新结构大幅度地改善芯片性能外,还把内存、接口、外设等集成在一块芯片上,成为一个功能强大的微处理器。DSP 处理信号的方式如图 1-1 所示。

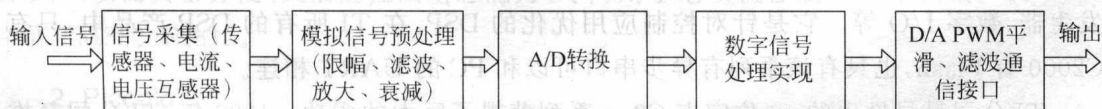


图 1-1 DSP 信号处理的主要过程

芯片的结构设计必须采用各种有效措施加快执行信号处理的速度。

#### 1.1.1 DSP 的功能和特点

虽然应用于不同领域的 DSP 有不同的型号,但其内部结构大同小异,都具有哈佛(Harvard)结构的特征。DSP 包括处理器内核、指令缓冲器、数据存储器 and 程序存储器、I/O 接口控制器、程序地址总线 and 程序数据总线、直接读取的地址总线 and 数据总线等单元,其中最核心的是处理器内核。数字信号处理器有以下特点。

(1) 哈佛总线结构。DSP 采用哈佛总线结构。程序与数据空间分开,分别有各自的地址总线 and 数据总线。取指令 and 读取数据操作可以同时进行,极大地提高了指令执行速度。TMS320F28x DSP 采用改进的哈佛总线结构,内有内存总线 and 外设总线两种,此外还允许数据存放在程序存储器中,被算术运算指令直接使用。

(2) 流水线技术。采用流水线操作,每条指令的执行划分为取指令、译码、取数 and 执行等步骤,由片内多个功能单元分别完成,支持任务的并行处理。在一个指令周期内实现一次或多次乘法累加(MAC)运算。

(3) 设置硬件乘法器。TMS320F28x DSP 设置了硬件乘法器,能够在单周期内完成 32 位 $\times$ 32 位的乘法运算,或双 16 位 $\times$ 16 位的乘法运算,使乘法运算的速度大大提高。

(4) 独立的 DMA 总线和控制器。DSP 内有独立的 DMA 控制逻辑,配合多总线结构,大大提高了数据的吞吐能力,为高速数据交换和数字信号处理提供了保障。

(5) 支持重复运算。DSP 支持重复运算,避免循环操作消耗太多时间。

(6) 提供多个接口。DSP 提供多个串行或并行 I/O 接口,以及一些具有特殊功能的接口来完成特殊的数据处理或控制,从而提高了系统的性能且降低了成本。

### 1.1.2 TI 公司典型 DSP 产品

目前,DSP 芯片市场的主要生产公司为:TI 公司、Freescale(Motorola)公司、Agere (Lucent)公司和 AD 公司。本书主要介绍 TI 公司的产品。

TI 公司现在主推 C2000、C5000、C6000 和 OMAP 四大系列的 DSP。

#### 1. C2000 系列(C20x、F20x、C24x、C28x)

C2000 系列是一个控制器系列,该系列芯片除了有 DSP 内核以外,还具有大量外设资源,如 A/D、定时器、各种串口(同步和异步)、看门狗(Watch Dog)、CAN 总线/PWM 发生器、数字 I/O 等。它是针对控制应用优化的 DSP,在 TI 所有的 DSP 产品中,只有 C2000 有 Flash,也只有该系列有异步串口可以和 PC 的 UART 相连。

TI 公司最早推出的 16 位定点 C2xx 系列获得了巨大的成功。1996 年,TI 公司又推出了第一款带有 Flash 的 DSP。随后 TI 公司在 C24xx 系列的基础上又推出了 F/C281x 系列。为了适应市场的专业化需求,TI 公司又推出了 Piccolo F280xx 系列,TMS320F28335 DSP 作为新推出的浮点型数字信号处理器,在已有的 DSP 平台上增加了浮点运算内核,在保持了原来数字信号处理器性能的基础上,能够更高效地执行复杂的浮点运算,极大地简化了开发过程,对控制应用的平均处理能力提高了近 50%。它可用在对处理速度、处理精度等方面要求较高的领域,比其他处理器有着更高的性价比。

C2000 系列 DSP 专为实时控制应用而设计,主要应用于自动控制领域,提供数字控制优化的 DSP 解决方案系统和电动机控制应用,包括 AC 感应、直流无刷、永磁同步和开关磁阻。C2000 系列又可具体分为 Concerto 系列、Delfino 系列、Piccolo 系列、24 位 $\times$ 16 位系列和 28 位 $\times$ 32 位系列。

#### 2. C5000 系列(C54x、C54xx、C55xx)

C5000 系列的主要特点是低功耗,适合用于个人与便携式上网以及无线通信应用,如手机、PDA、GPS 等。处理速度在 80~400MIPS 之间。C54xx 和 C55xx 一般只具有 McBSP 同步串口、HPI 并行接口、定时器、DMA 等外设。值得注意的是,C55xx 提供了 EMIF 外部存储器扩展接口,可以直接使用 SDRAM,而 C54xx 则不能直接使用

SDRAM。两个系列的数字 I/O 都只有两条。

该系列的 DSP 主要应用于复杂算法、语音处理等领域。

### 3. C6000 系列(C62xx、C67xx、C64x)

C6000 系列以高性能著称,最适合宽带网络和数字影像领域的应用。其中,C62xx 和 C64x 是定点系列,C67xx 是浮点系列。该系列提供 EMIF 扩展存储器接口。该系列只提供 BGA 封装,只能制作多层 PCB,且功耗较大。同为浮点系列的 C3x 中的 VC33 现在虽然不是主流产品,但也仍在广泛使用,其缺点是处理速度较低,最高仅为 150MIPS。

### 4. OMAP 系列

OMAP 处理器集成 ARM 的指令及控制功能,另外还提供 DSP 的低功耗实时信号处理能力,最适合移动上网设备和多媒体家电。

## 1.1.3 TMS320F28x 系列概述

### 1. C28x

C28x 是 C24x 的升级系列,具有 32 位内核,工作频率为 150MHz。片内不但具有 16 通道 12 位的 ADC 接口,还配备了 PWM 输出及正交编码和事件捕捉输入等电动机控制接口,从而具备方便、灵活的控制组态能力,专门用于电动机控制等工业领域。典型芯片是 TMS320F2812。

### 2. Piccolo

Piccolo(短笛)是在 C28x 的基础上,采用新型架构和增强型外设,为实时控制应用提供了低成本、小封装的选择。该系列芯片有控制率加速器(CLA)、Viterbi 复杂算术单元(VCU)及 LIN 总线等多项配置。典型芯片是 TMS320F28069。

### 3. Delfino

Delfino(海豚)是指 F2833x 和 F2834x 系列。Delfino 将工作频率高达 300MHz 的 C28x 内核与浮点性能相结合,可以满足对实时性要求极为苛刻的应用。采用 Delfino 芯片可以降低系统成本,提高系统可靠性,并极大地提升了控制系统的性能。典型芯片是 TMS320F28335。

## 1.2 TMS320F2833x 简介

### 1.2.1 芯片的封装

F2833x 有多种封装,176 引脚 PGF/PTP 薄形扁平四方封装 LQFP 的引脚分配如图 1-2 所示。



表 1-2 F28335 引脚说明——时钟

| 名称      | 引脚编号    |          |          | 说明  |
|---------|---------|----------|----------|---|
|         | PGF/PTP | ZHH/BALL | ZJZ/BZLL |   |
| XCLKOUT | 138     | C11      | A10      | 时钟输出来自 SYSCLKOUT。XCLKOUT 与 SYSCLKOUT 的频率可以相等,也可以为其 1/2 或 1/4,这是由 XTIMCLK[18:16]和在 XINTCNF2 寄存器中的位 2(CCLKMODE)控制的。复位时,XCLKOUT=SYSCLKOUT/4。通过将 XINTCNF2[CLKOFF]设定为 1,XCLKOUT 信号被关闭。与其他 GPIO 引脚不同,复位时,XCLKOUT 不在高阻态(O/Z, 8mA 驱动) |
| XCLKIN  | 105     | J14      | G13      | 外部振荡器输入。该引脚从外部 3.3V 振荡器获得时钟信号。在这种情况下 X1 引脚要接 GND。如果采用内部晶振/谐振器(或外部 1.9V 振荡器)提供时钟信号时,该引脚必须接 GND   |
| X1      | 104     | J13      | G14      | 内部/外部振荡器输入。采用内部振荡器时,在 X1 和 X2 之间要接一个石英晶体或者陶瓷谐振器。引脚 X1 可为标准的 1.9V 内核数字电源。一个 1.9V 外部振荡器可与 X1 引脚相连,此时 XCLKIN 引脚必须接地。如果是 3.3V 的外部振荡器与 XCLKIN 相连,X1 引脚必须接地   |
| X2      | 102     | J11      | H14      | 内部振荡器输出,在 X1 与 X2 之间要接一个石英晶体或者陶瓷谐振器。当不用 X2 引脚时,该脚悬空   |

表 1-3 F28335 引脚说明——复位

| 名称  | 引脚编号    |          |          | 说明  |
|-----|---------|----------|----------|---|
|     | PGF/PTP | ZHH/BALL | ZHH/BZLL |   |
| XRS | 80      | L10      | M13      | 复位脚(输入)和看门狗复位(输出)<br>复位脚,该引脚使器件复位终止运行。PC 指针指向地址 0x3FFFC0。当该引脚为高电平时,程序从 PC 所指的位置运行。当看门狗复位时,该引脚为低电平。看门狗将持续 512 个 OSCCLK 周期,该引脚的输出缓冲器为带有内部上拉电阻的开漏缓冲器,建议该引脚由开漏驱动器驱动 |

表 1-4 F28335 引脚说明——ADC 信号

| 名 称       | 引脚编号    |          |          | 说 明  |
|-----------|---------|----------|----------|--|
|           | PGF/PTP | ZHH/BALL | ZJZ/BZLL |  |
| ADCINA7   | 35      | K4       | K1       | 模/数转换器组 A 的 8 通道模拟输入(I)  |
| ADCINA6   | 36      | J5       | K2       |  |
| ADCINA5   | 37      | L1       | L1       |  |
| ADCINA4   | 38      | L2       | L2       |  |
| ADCINA3   | 39      | L3       | L3       |  |
| ADCINA2   | 40      | M1       | M1       |  |
| ADCINA1   | 41      | N1       | M2       |  |
| ADCINA0   | 42      | M3       | M3       |  |
| ADCINB7   | 53      | K5       | N6       | 模/数转换器组 B 的 8 通道模拟输入(I)  |
| ADCINB6   | 52      | P4       | M6       |  |
| ADCINB5   | 51      | N4       | N5       |  |
| ADCINB4   | 50      | M4       | M5       |  |
| ADCINB3   | 49      | L4       | N4       |  |
| ADCINB2   | 48      | P3       | M4       |  |
| ADCINB1   | 47      | N3       | N3       |  |
| ADCINB0   | 46      | P2       | P3       |  |
| ADCLO     | 43      | M2       | N2       | 模拟输入的公共地,接到模拟地(I)  |
| ADCRESEXT | 57      | M5       | P6       | ADC 外部偏置电阻,接 22k $\Omega$ 电阻到模拟地   |
| ADCREFIN  | 54      | L5       | P7       | 外部参考输入(I)  |
| ADCREFP   | 56      | P5       | P5       | ADC 参考电压正极输出。需要在该引脚和模拟地之间接一个低 ESR(等效串联电阻, 50m $\Omega$ ~1.5 $\Omega$ )的 2.2 $\mu$ F 陶瓷旁路电容 |
| ADCREFM   | 55      | N5       | P4       | ADC 参考电压中间输出。需要在该引脚和模拟地之间接一个低 ESR(等效串联电阻, 50m $\Omega$ ~1.5 $\Omega$ )的 2.2 $\mu$ F 陶瓷旁路电容 |

表 1-5 F28335 引脚说明——CPU 和输入/输出电源引脚

| 名 称      | 引脚编号    |          |          | 说 明       |
|----------|---------|----------|----------|-----------|
|          | PGF/PTP | ZHH/BALL | ZJZ/BZLL |           |
| VDDA2    | 34      | K2       | K4       | ADC 模拟电源  |
| VSSA2    | 33      | K3       | P1       | ADC 模拟地   |
| VDDAIO   | 45      | N2       | L5       | 模拟 I/O 电源 |
| VSSAIO   | 44      | P1       | N1       | 模拟 I/O 地  |
| VDD1A18  | 31      | J4       | K3       | ADC 模拟电源  |
| VSS1AGND | 32      | K1       | L4       | ADC 模拟地   |
| VDD2A18  | 59      | M6       | L6       | ADC 模拟电源  |
| VSS2AGND | 58      | K6       | P2       | ADC 模拟地   |

续表

| 名 称   | 引脚编号    |          |          | 说 明           |            |
|-------|---------|----------|----------|---------------|------------|
|       | PGF/PTP | ZHH/BALL | ZJZ/BZLL |               |            |
| VDD   | 4       | B1       | D4       | CPU 和逻辑数字电源引脚 |            |
| VDD   | 15      | B5       | D5       |               |            |
| VDD   | 23      | B11      | D8       |               |            |
| VDD   | 29      | C8       | D9       |               |            |
| VDD   | 61      | D13      | E11      |               |            |
| VDD   | 101     | E9       | F4       |               |            |
| VDD   | 109     | F3       | F11      |               |            |
| VDD   | 117     | F13      | H4       |               |            |
| VDD   | 126     | H1       | J4       |               |            |
| VDD   | 139     | H12      | J11      |               |            |
| VDD   | 146     | J2       | K11      |               |            |
| VDD   | 154     | K14      | L8       |               |            |
| VDD   | 167     | N6       | —        |               |            |
| VDDIO | 9       | A4       | A13      |               | I/O 数字电源引脚 |
| VDDIO | 71      | B10      | B1       |               |            |
| VDDIO | 93      | E7       | D7       |               |            |
| VDDIO | 107     | E12      | D11      |               |            |
| VDDIO | 121     | F5       | E4       |               |            |
| VDDIO | 143     | L8       | G4       |               |            |
| VDDIO | 159     | H11      | G11      |               |            |
| VDDIO | 170     | N14      | L10      |               |            |
| VDDIO | —       | —        | N14      | 数字接地引脚        |            |
| VSS   | 3       | A5       | A1       |               |            |
| VSS   | 8       | A10      | A2       |               |            |
| VSS   | 14      | A11      | A14      |               |            |
| VSS   | 22      | B4       | B14      |               |            |
| VSS   | 30      | C3       | F6       |               |            |
| VSS   | 60      | C7       | F7       |               |            |
| VSS   | 70      | C9       | F8       |               |            |
| VSS   | 83      | D1       | F9       |               |            |
| VSS   | 92      | D6       | G6       |               |            |
| VSS   | 103     | D14      | G7       |               |            |
| VSS   | 106     | E8       | G8       |               |            |
| VSS   | 108     | E14      | G9       |               |            |
| VSS   | 118     | F4       | H6       |               |            |
| VSS   | 120     | F12      | H7       |               |            |
| VSS   | 125     | G1       | H8       |               |            |
| VSS   | 140     | H10      | H9       |               |            |
| VSS   | 144     | H13      | J6       |               |            |
| VSS   | 147     | J3       | J7       |               |            |
| VSS   | 155     | J10      | J8       |               |            |
| VSS   | 160     | J12      | J9       |               |            |
| VSS   | 166     | M12      | P13      |               |            |
| VSS   | 171     | N10      | P14      |               |            |
| VSS   | —       | N11      | —        |               |            |
| VSS   | —       | P6       | —        |               |            |
| VSS   | —       | P8       | —        |               |            |

表 1-6 F28335 引脚说明——GPIOA 和外设信号

| 名称  | 引脚编号    |          |          | 说明   |
|---|---------|----------|----------|--|
|   | PGF/PTP | ZHH/BALL | ZJZ/BZLL |  |
| GPIO0<br>EPWM1A                           | 5       | C1       | D1       | 通用 I/O 引脚 0(I/O/Z)<br>增强型 PWM1 输出 A 通道和 HRPWM 通道(O)  |
| GPIO1<br>EPWM1B<br>ECAP6<br>MFSRB         | 6       | D3       | D2       | 通用 I/O 引脚 0(I/O/Z)<br>增强型 PWM1 输出 B 通道(O)<br>增强型捕获 I/O 口 6(I/O)<br>多通道缓冲串口 B(MCBSP-B)的接收帧同步(I/O) |
| GPIO2<br>EPWM2A                           | 7       | D2       | D3       | 通用 I/O 引脚 2(I/O/Z)<br>增强型 PWM2 输出 A 通道和 HRPWM 通道(O)  |
| GPIO3<br>EPWM2B<br>ECAP5<br>MCLKRB        | 10      | E4       | E1       | 通用 I/O 引脚 3(I/O/Z)<br>增强型 PWM2 输出 B 通道(O)<br>增强型捕获 I/O 口 5(I/O)<br>多通道缓冲串口 B(MCBSP-B)的接收时钟(I/O)  |
| GPIO4<br>EPWM3A                           | 11      | E2       | E2       | 通用 I/O 引脚 4(I/O/Z)<br>增强型 PWM3 输出 A 通道和 HRPWM 通道(O)  |
| GPIO5<br>EPWM3B<br>MFSRA<br>ECAP1         | 12      | E3       | E3       | 通用 I/O 引脚 5(I/O/Z)<br>增强型 PWM3 输出 B 通道(O)<br>多通道缓冲串口 A(MCBSP-A)的同步接收帧(I/O)<br>增强型捕获 I/O 口 1(I/O) |
| GPIO6<br>EPWM4A<br>EPWMSYNCI<br>EPWMSYNCO | 13      | E1       | F1       | 通用 I/O 引脚 6(I/O/Z)<br>增强型 PWM4 输出 A 通道和 HRPWM 通道(O)<br>外部的 ePWM 同步脉冲输入(I)<br>外部的 ePWM 同步脉冲输出(O)  |
| GPIO7<br>EPWM4B<br>MCLKRA<br>ECAP2        | 16      | F2       | F2       | 通用 I/O 引脚 7(I/O/Z)<br>增强型 PWM4 输出 B 通道(O)<br>多通道缓冲串口 A(MCBSP-A)的接收时钟(I/O)<br>增强型捕获 I/O 口 2(I/O)  |
| GPIO8<br>EPWM5A<br>CANTXB<br>ADCSOCAO     | 17      | F1       | F3       | 通用 I/O 引脚 6(I/O/Z)<br>增强型 PWM4 输出 A 通道和 HRPWM 通道(O)<br>增强型 CAN-B 发射端口(O)<br>ADC 转换启动 A(O)        |

续表

续表

| 名称                                     | 引脚编号    |          |          | 说明  |
|--|---------|----------|----------|---|
|  | PGF/PTP | ZHH/BALL | ZJZ/BZLL |   |
| GPIO9<br>EPWM5B<br>SCITXDB<br>ECAP3    | 18      | G5       | G1       | 通用 I/O 引脚 9(I/O/Z)<br>增强型 PWM5 输出 B 通道 (O)<br>SCI-B 发送数据(O)<br>增强型捕获 I/O 口 3(I/O)   |
| GPIO10<br>EPWM6A<br>CANRXB<br>ADCSOCBO | 19      | G4       | G2       | 通用 I/O 引脚 10(I/O/Z)<br>增强型 PWM6 输出 A 通道和 HRPWM 通道(O)<br>增强型 CAN-B 接收端口(O)<br>ADC 转换启动 B(O)  |
| GPIO11<br>EPWM6B<br>SCIRXDB<br>ECAP4   | 20      | G2       | G3       | 通用 I/O 引脚 11(I/O/Z)<br>增强型 PWM6 输出 B 通道 (O)<br>SCI-B 接收数据(O)<br>增强型捕获 I/O 口 4(I/O)  |
| GPIO12<br>TZ1<br>CANTXB<br>MDXB        | 21      | G3       | H1       | 通用 I/O 引脚 12(I/O/Z)<br>PWM 连锁错误触发输入 1<br>增强型 CAN-B 发送端口(O)<br>多通道缓冲串口 B(MCBSP-B) 发送串行数据(O)  |
| GPIO13<br>TZ2<br>CANRXB<br>MDXB        | 24      | H3       | H2       | 通用 I/O 引脚 14(I/O/Z)<br>PWM 连锁错误触发输入 2<br>增强型 CAN-B 接收端口(O)<br>多通道缓冲串口 B(MCBSP-B) 接收串行数据(O)  |
| GPIO14<br>TZ3/XHOLD                    |         |          |          | 通用 I/O 引脚 14(I/O/Z)<br>PWM 连锁错误触发 3 或者 XHOLD 外部保持请求。当 XINTF 响应请求时,若该引脚呈现低电平,请求 XINTF 释放外部总线,并把所有的总线和选通端置为高阻抗。在当前操作完成后总线被释放,XINTF 不再有其他操作(I) |
| SCITXDB<br>MCLKXB                      | 25      | H2       | H3       | SCI-B 发送端口(O)<br>多通道缓冲串口 B 发送时钟 (I/O)   |
| GPIO15<br>TZ4/XHOLD                    | 26      | H4       | J1       | 通用 I/O 引脚 15(I/O/Z)<br>PWM 连锁错误触发 4 或者 XHOLD 外部保持应答信号(I/O)<br>SCI-B 接收端口(O)<br>多通道缓冲串口 B 接收帧同步 (I/O)  |