TB3104

使用PIC16F753模拟功能的升压转换器

作者： *Mihnea Rosu-Hamzescu*
Microchip Technology Inc.

简介

本技术摘要介绍了一种基于PIC16F753并完全使用模拟控制实现输出调节的升压电源。这种实现的优势是不占用任何处理器资源，从而释放内核以供更复杂的固件使用。此外，模拟环路对负载阶跃和输入电压变化具有更短的响应时间，这对许多应用非常有用。

应用需要的外设包括：

- 一个互补输出发生器（Complementary Output Generator，COG）
- 一个比较器（Comparator，COMP）
- 一个运算放大器（Operational Amplifier，OPA）
- 一个9位数模转换器（Digital-to-Analog Converter，DAC）
- 一个固定参考电压（Fixed Voltage Reference，FVR）
- 一个斜率补偿（Slope Compensation，SC）模块
- 一个捕捉/比较/PWM（Capture/Compare/PWM，CCP）模块

外设通过固件在内部连接，从而显著减少该实现所需的外部引脚数量。

性能规范

工作范围内的电气规范：
3V ≤ V_{DD} ≤ 5V。

表1：　电气规范

输入电压范围	3-5	伏（直流）
输出电压	5	伏（直流）
输出电流	2	安
输出功率	10	瓦
代码长度	99	字
RAM大小	0	字节
效率	87%	2A下测得
可用代码长度	1949	字
可用RAM大小	128	字节

© 2015 Microchip Technology Inc.

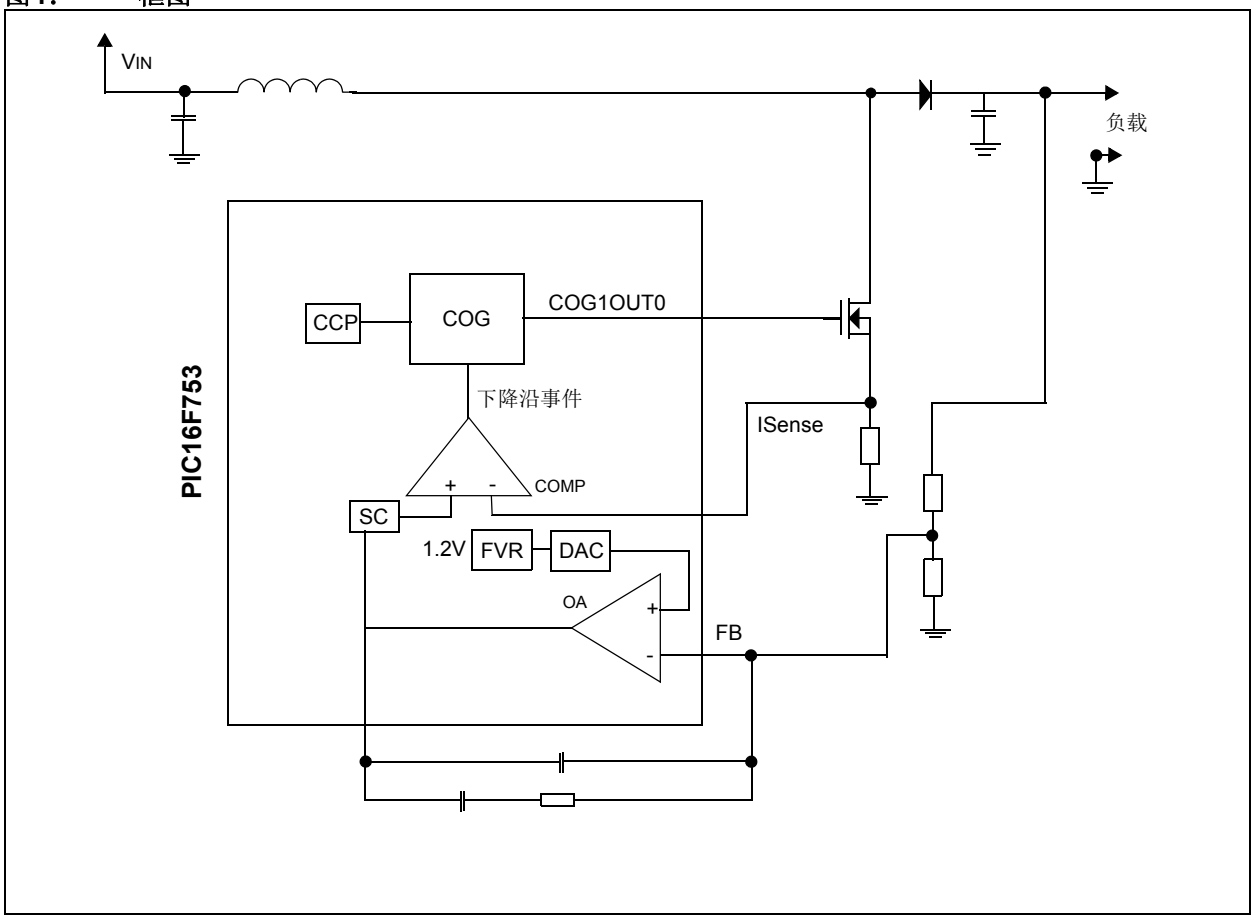
框图

输出电压通过峰值电流模式控制进行稳压。将输出电压与误差放大器（Error Amplifier， EA）的参考电压进行比较，并将结果馈送至峰值电流比较器。在峰值电流比较器之前，内部斜率补偿模块会从误差放大器输出中减去一个软件可编程的斜坡。

CCP提供具有固定频率和固定占空比的控制信号，并选择峰值电流比较器输出作为COG下降沿的第二个（分级）源。

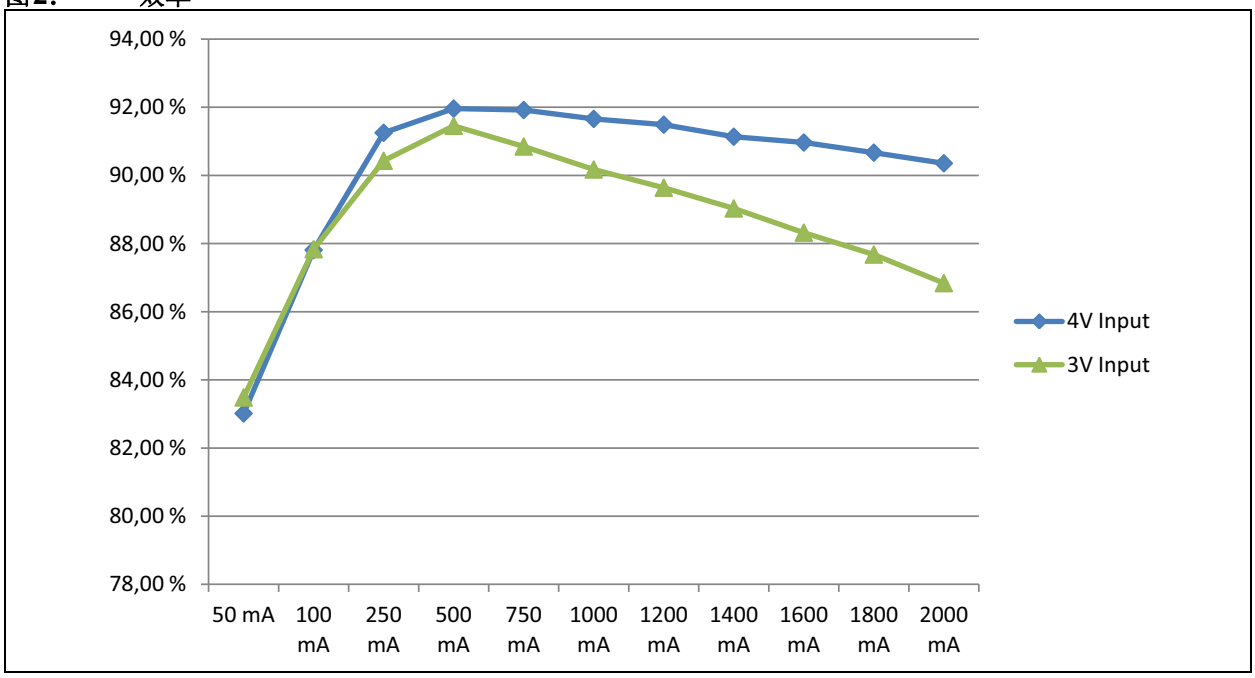
图1给出了电源的框图。

图1：　　框图



© 2015 Microchip Technology Inc.

图2： 效率



功能说明

本电源为固定频率峰值电流模式转换器。运算放大器（OPA）用作输出电压的误差放大器（EA），比较器会根据EA反馈限制每个开关周期的峰值电感电流。EA的参考电压由DAC产生，并可在固件中实时更改。CCP外设为COG生成具有固定频率和固定占空比的控制信号。通过选择峰值电流比较器作为第二个下降沿事件源来关闭环路（根据EA反馈限制每个开关脉冲上的占空比）。

配置完外设并将它们连接在一起后，控制环路会自动运行，无需占用处理器时间。

占空比超过50%时，峰值电流控制方案需要斜率补偿以防止振荡。占空比较低时，如果电流检测电阻较小，斜率补偿还有助于稳定控制环路。在峰值电流比较器之前，内部斜率补偿模块会从误差放大器输出中减去一个软件可编程的斜坡。

对于升压拓扑，电感电流等于输入电流。可在晶体管源和地之间放置的电阻上直接测量峰值电感电流。

控制环路中没有集成输出电流限制功能，因此应使用第二个比较器并将其选作COG的自动关断源。误差放大器输出即为电感峰值电流限值，因此通过电阻分压器使该值保持为较低值有助于避免浪涌电流问题和灾难性的短路状态。但是，这种方法的缺点在于系统增益的降低以及对瞬态的响应变慢。OPA输出引脚与斜率补偿模块输入引脚相同，因此这两个外设可以一起使用，无需任何其他外部连接。如果使用电阻分压器限制OPA输出电压，则必须将其从外部连接到FVR缓冲器输入引脚。

输入电压通过一个较小的二极管连接到单片机并升压至输出。因此，当输出电压升高时，它将为单片机和MOSFET驱动器供电。这样可以提高效率，因为更高的V_{GS}有助于提高R_{DS}（ON），而大部分功率晶体管在间隔低于4.5V时会出现问题。这也使得FVR成为惟一可用的稳定参考电压，并且电路需要进行一些更改以确保环路参考电压始终独立于电源或输出电压。由于控制环路参考电压由DAC产生，因此该外设也需要稳定的参考电压。将1.2V的FVR选作DAC参考电压可满足上述所有要求。

© 2015 Microchip Technology Inc.

很重要的一点是，升压拓扑具有一条从电源经由电感和整流器二极管到输出的明确直流通道，即使开关晶体管被阻断也不受影响。电流限制环路只能在开关频率变为零之前防止过流。从开关频率变为零开始，如果没有附加保护开关，则可能发生灾难性的短路事件。此时可将另一个晶体管置于输出下桥臂上，以在短路时切断负载。

对于基于比较器的短路保护，参考电压必须在整个工作电压范围内保持稳定。由于输出电流检测电阻的电压通常过小而无法直接与1.2V FVR一起使用，因此需要先从外部经由FVR缓冲器，然后经由电阻分压器以获得比较器所需的参考电压。由于这种方式会使用FVR缓冲器，因此OPA输出必须直接用于SC，无需其他分压器。这种解决方案不占用处理器时间，但是会使用更多的引脚和外设。对于基于ADC的短路保护，需要在固件中读取电流检测电阻电压和FVR。FVR电压对于计算V_{DD}（< 5V时）必不可少，本示例中为ADC参考电压。虽然第二个解决方案不使用额外的比较器、I/O引脚和外部电阻，但是需要一些程序空间和处理器时间。

本文档中列出的元件值仅作为初始参考。每个设计都需要调整这些值。必须为转换器补偿一个特定的负载，并且必须在整个工作条件范围内验证稳定性。

与基于专用PWM控制器芯片的解决方案相比，虽然性能相似，但是基于PIC® 单片机的解决方案具有更大的灵活性。此外，模拟控制环路可自动运行，因此能够完全释放单片机内核来运行用户算法、测量电源参数或发送相关信息。

应用

模拟控制环路使电源对动态负载和输入电压变化的响应足够快。

对于LED或温差电池等电流控制的负载，可以用平均电流反馈来替代电压反馈。此电源也可以用于需要电压和电流控制的应用（例如，CC/CV电池充电器）。PIC16F753 DAC具有9位分辨率，可通过1/5输出分压器转换为50 mV的最小电压步长。

© 2015 Microchip Technology Inc.

MCU外设配置图

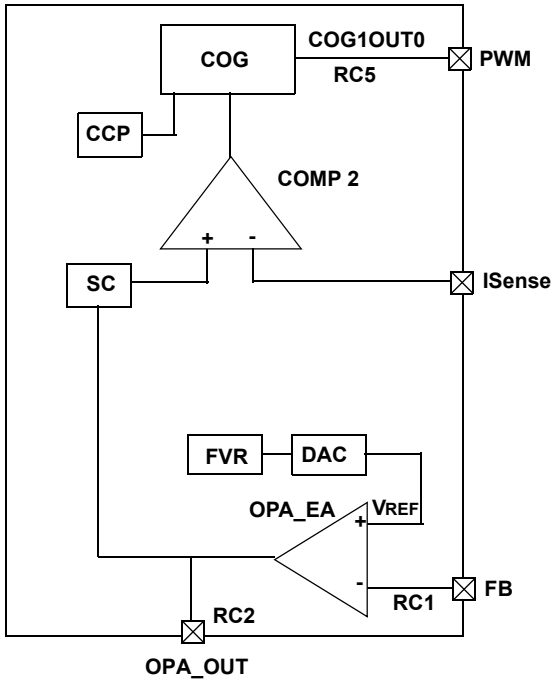
此应用需要一个OPA、一个比较器和一个DAC。DAC输出可在内部连接到OPA，因此该功能可节省一个引脚。CCP模块为COG生成具有固定频率和固定占空比的信号。根据限制OPA输出的用户选项，需要将电阻分压器从外部连接到FVR缓冲器输入。如果未使用电阻分压器，则仅使用一个引脚而不是两个。在这种情况下，OPA输出（与SC输入相同）将配置为模拟引脚，并且不应用于其他用途。

仅用作输入的数字引脚$\overline{\text{MCLR}}$可用于按钮或类似功能。在运行时，编程数据I/O引脚（PGD）空闲，可用于用户特定的功能。

表2： PIC16F753外设配置

引脚编号	名称	功能
1	VDD	电源电压
14	VSS	地连接
10	RC0	模拟输入（COMP）—— 峰值电流检测
9	RC1	模拟输入（OPA）—— 输出电压反馈
8	RC2	模拟输出（OPA）—— 误差放大器输出
12	RA1/PGC/FVRIN	模拟输入 —— 来自误差放大器/编程时钟的峰值电流限制的FVR缓冲器输入
13	PGD	编程数据
5	COG1OUT0/RC5	晶体管控制信号（PWM）

图3： 外设配置



关键参数图

表3包含在3V输入电压和5V输出电压下获得的某些充电器特性。开关频率为250 kHz。

表3：　电源特性

输出电流（mA）	占空比（%）	效率（%）
0	跳过	N/A
50	26.3	83.5
100	37.2	87.8
250	43.2	90.4

表3：　电源特性（续）

输出电流（mA）	占空比（%）	效率（%）
500	43.9	91.4
750	44.6	90.8
1000	45.3	90.1
1200	45.7	89.6
1400	46.4	89.0
1600	46.9	88.3
1800	47.4	87.6
2000	48.2	86.8

注 1： 计算的效率包括电流检测电阻上的功率损耗。

图4：　占空比—负载电流曲线

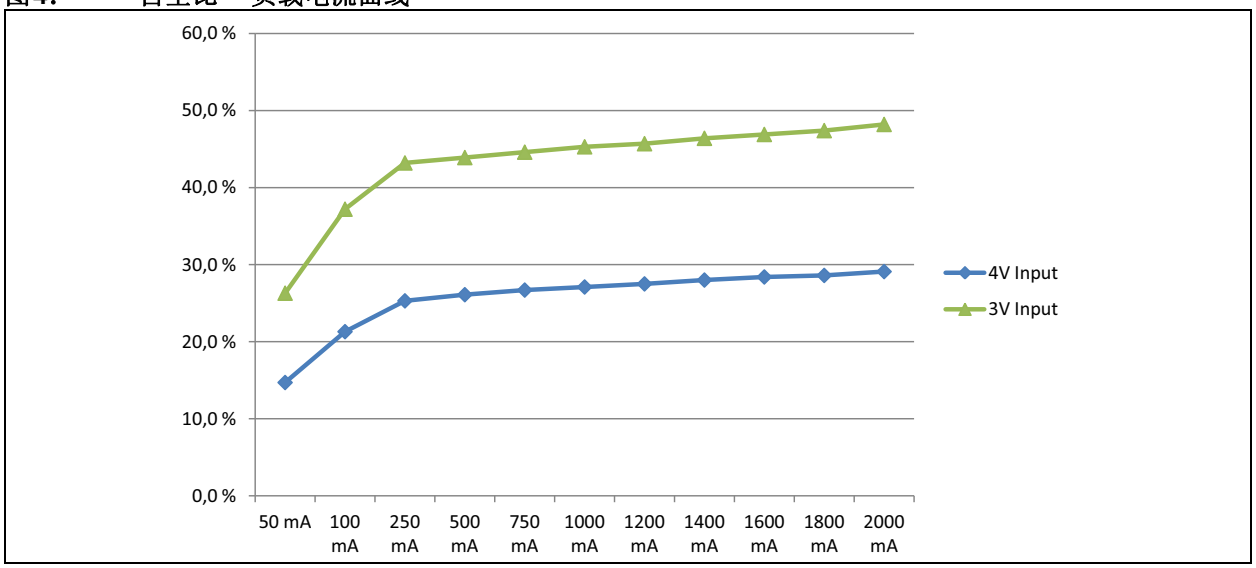


图4给出了转换器在3V和4V输入电压下的工作频率—输出电流曲线。电感电流变为连续电流后，占空比几乎不发生变化，仅用于补偿元件功率损耗。可通过效率图轻松了解功率损耗（见图2）。

词汇表

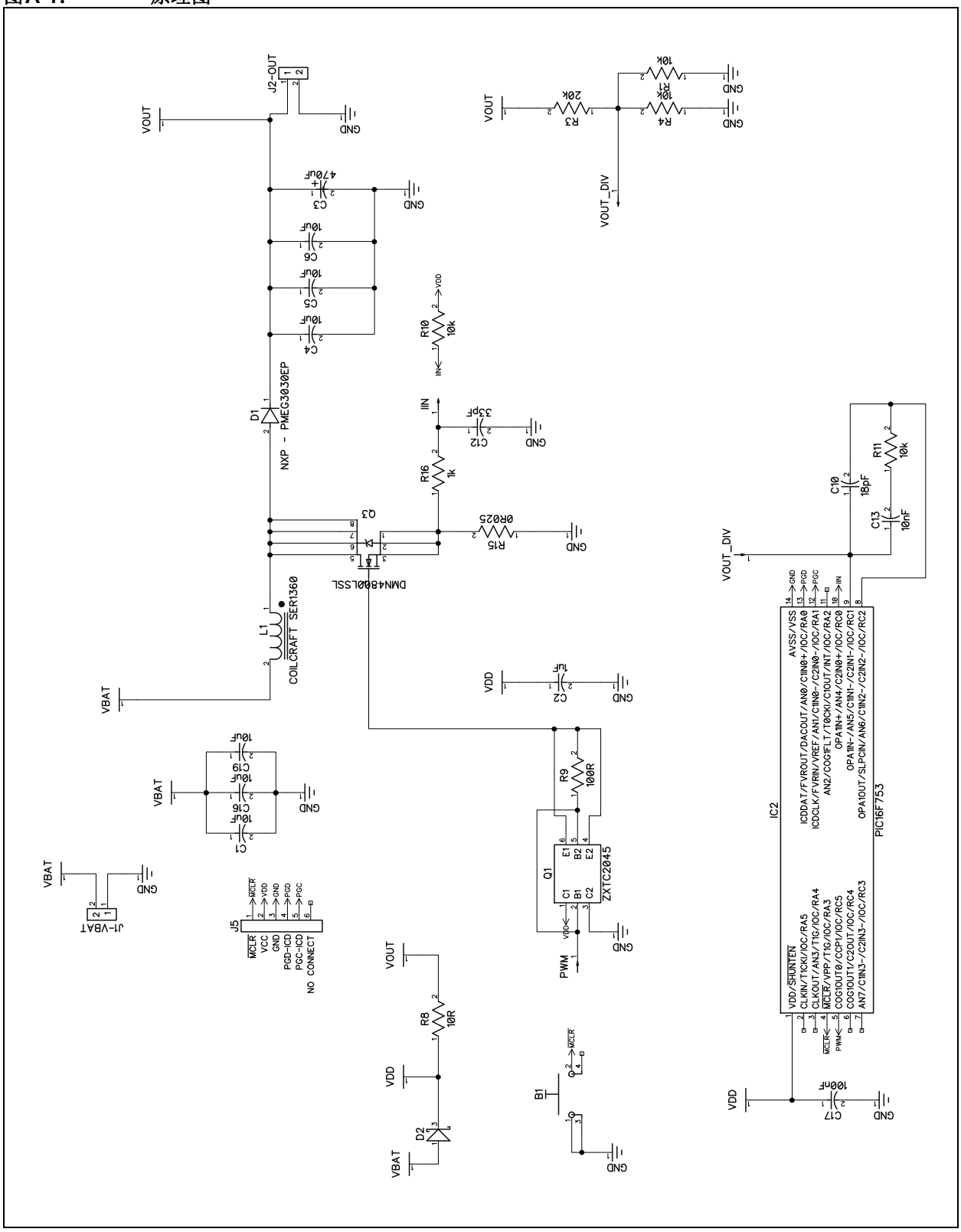
表4：　缩略词

PWM	脉宽调制
ADC	模数转换器
DAC	数模转换器
COG	互补输出发生器
FVR	固定参考电压
OPA	运算放大器
EA	误差放大器
SC(M)	斜率补偿（模块）
CCP	捕捉/比较/PWM

© 2015 Microchip Technology Inc.

附录A：

图A-1：　　原理图


J2-OUT
VOUT
GND
C3
470uF
C6
10uF
C5
10uF
C4
10uF
D1
NXP - PMEG3030EP
R10
10k
VDD
IN
C12
33pF
R16
1k
Q3
DMN4800LSSL
R15
0R025
L1
COILCRAFT SER1360
VBAT
VDD
C2
1uF
R3
20k
R4
10k
R1
10k
VOUT_DIV
C10
18pF
C13
10nF
R11
10k
IC2
PIC16F753
ICDDAT/FVROUT/DACOUT/AN0/C1IN0+/IOC/RA0
ICDCLK/FVRIN/VREF/ANY/C1IN0-/C2IN0-/IOC/RA1
AN2/COGFLT/T0CKI/C1OUT/INT/IOC/RA2
OPA1IN+/AN4/C2IN0+/IOC/RC0
OPA1IN-/AN5/C1IN1-/C2IN1-/IOC/RC1
OPA1OUT/SLPCIN/AN6/C1IN2-/C2IN2-/IOC/RC2
AVSS/VSS
VDD/SHUNTEN
CLKIN/T1CKI/IOC/RA5
CLKOUT/AN3/T1G/IOC/RA4
MCLR/VPP/T1G/IOC/RA3
COG1OUT0/CCP1/IOC/RC5
COG1OUT1/C2OUT/IOC/RC4
AN7/C1IN3-/C2IN3-/IOC/RC3
C17
100nF
C16
10uF
C19
10uF
C1
10uF
J1-VBAT
J5
MCLR
VCC
GND
PGD-ICD
PGC-ICD
NO CONNECT
R9
100R
Q1
ZXTC2045
PWM
R8
10R
D2
B1

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下， Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是 “牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。 Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案 （Digital Millennium Copyright Act）》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。**Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。** Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、 Microchip 徽标、 dsPIC、 FlashFlex、 flexPWR、 JukeBlox、 KEELOQ、 KEELOQ 徽标、 Kleer、 LANCheck、 MediaLB、 MOST、 MOST 徽标、 MPLAB、 OptoLyzer、 PIC、 PICSTART、 PIC^{32} 徽标、 RightTouch、 SpyNIC、 SST、 SST 徽标、 SuperFlash 及 UNI/O 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

The Embedded Control Solutions Company 和 mTouch 为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、BodyCom、chipKIT、chipKIT 徽标、 CodeGuard、 dsPICDEM、 dsPICDEM.net、 ECAN、 In-Circuit Serial Programming、 ICSP、 Inter-Chip Connectivity、 KleerNet、 KleerNet 徽标、 MiWi、 MPASM、 MPF、 MPLAB Certified 徽标、 MPLIB、 MPLINK、 MultiTRAK、 NetDetach、 Omniscient Code Generation、 PICDEM、 PICDEM.net、 PICkit、 PICtail、 RightTouch 徽标、 REAL ICE、 SQI、 Serial Quad I/O、 Total Endurance、 TSHARC、 USBCheck、 VariSense、 ViewSpan、 WiperLock、 Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. & KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2015, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN：978-1-63277-645-7

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM CERTIFIED BY DNV

═ ISO/TS 16949 ═

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。 Microchip 的 PIC® MCU 与 dsPIC® DSC、KEELOQ® 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外， Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

© 2015 Microchip Technology Inc.

全球销售及服务网点

美洲

公司总部 Corporate Office
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277
技术支持：
http://www.microchip.com/support
网址：www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX
Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

克里夫兰 Cleveland
Independence, OH
Tel: 1-216-447-0464
Fax: 1-216-447-0643

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-673-0699
Fax: 1-905-673-6509

亚太地区

亚太总部 Asia Pacific Office
Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2943-5100
Fax: 852-2401-3431

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000
Fax: 86-10-8528-2104

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588
Fax: 86-23-8980-9500

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115
Fax: 86-571-8792-8116

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100
Fax: 852-2401-3431

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460
Fax: 86-25-8473-2470

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355
Fax: 86-532-8502-7205

中国 - 上海
Tel: 86-21-5407-5533
Fax: 86-21-5407-5066

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200
Fax: 86-755-8203-1760

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252
Fax: 86-29-8833-7256

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138
Fax: 86-592-238-8130

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040
Fax: 86-756-321-0049

亚太地区

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7828

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600
Fax: 886-2-2508-0102

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-5778-366
Fax: 886-3-5770-955

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444
Fax: 91-80-3090-4123

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632

印度 India - Pune
Tel: 91-20-3019-1500

日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160
Fax: 81-6-6152-9310

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770
Fax: 81-3-6880-3771

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301
Fax: 82-53-744-4302

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 或
82-2-558-5934

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-6201-9857
Fax: 60-3-6201-9859

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870
Fax: 60-4-227-4068

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065
Fax: 63-2-634-9069

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870
Fax: 65-6334-8850

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

欧洲

奥地利 Austria - Wels
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 Denmark-Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

法国 France - Paris
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 Germany - Dusseldorf
Tel: 49-2129-3766400

德国 Germany - Karlsruhe
Tel: 49-721-625370

德国 Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

意大利 Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 Italy - Venice
Tel: 39-049-7625286

荷兰 Netherlands - Drunen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

波兰 Poland - Warsaw
Tel: 48-22-3325737

西班牙 Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 Sweden - Stockholm
Tel: 46-8-5090-4654

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820

07/14/15

© 2015 Microchip Technology Inc.