

# 新型电源IC 技术手册

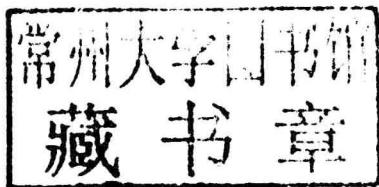
主编 李朝青  
参编 林 台 张晓乡  
冯 喜 曹文嫣 等



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

# 新型电源 IC 技术手册

主编 李朝青  
参编 林 台 张晓乡  
冯 喜 曹文嫣 等



北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书主要介绍微控制器系统及各种电子系统中可使用的新型电源管理及DC/DC变换IC。主要内容包括:AC/DC电源转换芯片;三端稳压器芯片;便携式低压差(LDO)稳压器芯片;降压DC/DC变换器芯片;升压、升压/降压、反相型DC/DC变换器芯片;电源监控及电源保护芯片;电源排序、跟踪及电源管理芯片;LED驱动器电源芯片;电池充电电源芯片;FPGA、MCU、USB、以太网、汽车等专用电源芯片;电源基准芯片。

本书可供广大工程技术人员和大中专院校师生参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

新型电源 IC 技术手册 / 李朝青主编. --北京: 北京航空航天大学出版社, 2012. 10

ISBN 978-7-5124-0840-1

I. ①新… II. ①李… III. ①开关电源—电源控制器—技术手册 IV. ①TN86-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 121957 号

版权所有,侵权必究。

### 新型电源 IC 技术手册

李朝青 主编

参编 林 台 张晓乡

冯 喜 曹文嫣 等

责任编辑 刘 晨 张 楠

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:710×1000 1/16 印张:63.25 字数:1423千字

2012年10月第1版 2012年10月第1次印刷 印数:3000册

ISBN 978-7-5124-0840-1 定价:128.00

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

# 前 言

---

本书《新型电源 IC 技术手册》主要介绍近六七年各大公司推出的新型开关电源及线性电源低压差(LDO)芯片。随着半导体技术工艺的发展,新型电源 IC 产品日新月异层出不穷,可谓“芯海”茫茫。本书根据微控制器系统对 IC 芯片的功率、效率、噪声、输入接口、输入范围、输出电压、输出数目、尺寸等各项指标的要求一一为读者做解析。

当今的电源管理及 DC/DC 变换解决方案提高了功率、效率、可编程性和集成度,同时缩小了封装尺寸,从而能够为它们的新应用实现了更专业的电源管理能力。

电源管理方面的进步,如极大地降低了电源要求和缩小了 IC 尺寸,不是一蹴而就的。它花费了 20 多年才取得了重大发展。

如今,大量因素让开关 DC/DC 稳压器变得更普及,并且可以用于大量新兴应用。首先,较低的功耗消除了对特殊电源封装和散热器的要求,因而降低了整体复杂度和成本。

为了在设计工作中选择正确的 IC,必须综合考虑成本、解决方案尺寸、电源、占空比与所需输出功率等许多因素,并根据重要性加以权衡与排序。

由于有些应用系统的空间有限,在选择拓扑时应先考虑采用 LDO,不过由于功耗与效率方面的问题,并不是所有情况下 LDO 都适用。显然,由于 LDO 产生功耗非常大,因此应当采用开关 DC/DC 变换器。

为设计工作选择极佳 IC,开关电源以其效率高、功率密度高而在电源领域占主导地位。选择 IC 时要考虑到大小与成本的局限性,所选 IC 的集成度应尽可能高,内置 MOSFET,这可以促进解决方案的小型化,降低制造成本。目前提供的多输出 IC 还可进一步促进解决方案的小型化。

在电源管理及 DC/DC 变换 IC 的输入接口的选择上,已有很多新型的 IC 芯片。例如在电池充电方面,USB 接口一直是首先的快速数据传输途径,也正在成为首选的便携式设备电池充电途径,从而不是再需要单独的交流适配器。但是,USB 接口用来给设备电池充电时,存在功率限制。

本书不以电路结构分类,而以使用者的需求来分类。全书共 12 章,内容如下:

- ① 开关电源及同步整流技术。
- ② AC/DC 电源转换芯片及应用电路。
- ③ 三端稳压器芯片。
- ④ 便携式低压差(LDO)稳压器。
- ⑤ 开关型降压 DC/DC 变换器芯片。
- ⑥ 开关型升压、升压/降压、反相型 DC/DC 变换器芯片。
- ⑦ 电源监控及电源保护芯片。
- ⑧ 电源排序、跟踪及电源管理芯片。
- ⑨ LDE 驱动器电源芯片。
- ⑩ 电池充电电源芯片。
- ⑪ FPGA、MCU、USB、以太网、汽车等专用电源芯片。
- ⑫ 电压基准芯片。

参加本书编写的还有刘艳玲(第 2、11 章)、王志勇(第 5 章)、袁其平(第 8 章)、张秋燕、沈怡麟、李运等。

限于编者水平,书中难免有错误或不妥之处,敬请广大读者批评指正。

天津理工大学电信学院  
李朝青

2012 年 8 月

# 目 录

<b>第 1 章 开关电源及同步整流技术</b> .....	1
1.1 电源 IC 芯片的种类 .....	1
1.2 数字电源简介 .....	2
1.3 开关电源工作原理 .....	5
1.4 同步整流(SR)技术 .....	9
1.5 同步整流降压式控制器 IC 芯片 .....	12
<b>第 2 章 AC/DC 电源变换芯片及应用电路</b> .....	24
2.1 AC/DC 电源变换芯片简述 .....	24
2.2 无需电源变压器单路输出小电流 AC/DC 电路 .....	26
2.3 无需电源变压器输出高压或大电流 AC/DC 电路 .....	37
2.4 无需电源变压器多路输出 AC/DC 电路 .....	45
2.5 无需电源变压器小型化线性 AC/DC 芯片 .....	57
2.6 需要电源变压器的 AC/DC 电路 .....	62
<b>第 3 章 三端稳压器芯片</b> .....	71
3.1 三端固定输出线性稳压器芯片 .....	71
3.2 三端可调线性稳压器芯片 .....	82
3.3 三端线性低压差稳压器芯片 .....	88
3.4 新型开关电路的三端稳压器 .....	94
<b>第 4 章 便携式低压差(LDO)稳压器</b> .....	100
4.1 便携式 LDO 稳压器概述 .....	100
4.2 便携式稳压器芯片 .....	109
4.3 输出小电流(mA)级 LDO 芯片 .....	132
4.4 输出大电流(1 A 以上)LDO 芯片 .....	168

# 目 录

4.5	高电压输入小电流输出(mA 级)LDO 芯片 .....	185
4.6	高电压输入大电流输出(1 A 以上)芯片 .....	191
<b>第 5 章</b>	<b>开关型降压 DC/DC 变换器芯片 .....</b>	<b>198</b>
5.1	开关型降压 DC/DC 变换器芯片概述 .....	198
5.2	低压输入低压输出 mA 级 DC/DC 芯片 .....	199
5.3	低压输入低压输出大电流 DC/DC 芯片 .....	219
5.4	宽电压输入低电压输出 mA 级 DC/DC 芯片 .....	237
5.5	宽电压输入低电压输出大电流 DC/DC 芯片 .....	252
5.6	宽电压输入宽电压输出大电流 DC/DC 芯片 .....	293
5.7	宽电压输入最低 $0.6V_{out}$ 大电流 DC/DC 芯片 .....	308
5.8	多功能多电压输出 DC/DC 芯片 .....	326
<b>第 6 章</b>	<b>开关型升压、升压/降压、反相型 DC/DC 变换器芯片 .....</b>	<b>337</b>
6.1	开关型升压、升压/降压 DC/DC 变换器原理 .....	337
6.2	低压输入低压输出升压 DC/DC 芯片 .....	339
6.3	低压输入高压输出升压 DC/DC 芯片 .....	369
6.4	宽电压输入宽电压输出升压,DC/DC 芯片 .....	378
6.5	正/负两路输出升压 DC/DC 芯片 .....	389
6.6	反相(倒相、反转)型 DC/DC 芯片 .....	397
6.7	升压/降压型 DC/DC 转换芯片 .....	413
<b>第 7 章</b>	<b>电源监控及电源保护芯片 .....</b>	<b>428</b>
7.1	电源监控及保护技术概述 .....	428
7.2	$\mu P$ 复位监控/电源电压监控 IC 芯片 .....	431
7.3	电池电量测量电路 IC 芯片 .....	513
7.4	电源保护 IC 芯片 .....	529
7.5	$\mu P$ 监控电路及复位 IC 芯片表 .....	549
<b>第 8 章</b>	<b>电源排序、跟踪及电源管理芯片 .....</b>	<b>559</b>
8.1	电源排序、跟踪、管理技术概述 .....	559
8.2	电源排序 IC 芯片 .....	566
8.3	电源跟踪 IC 芯片 .....	583
8.4	电源管理及控制 IC 芯片 .....	598
8.5	电源管理芯片树及表 .....	617

<b>第 9 章 LED 驱动器电源芯片</b> .....	622
9.1 发光二极管(LED)驱动器概述 .....	622
9.2 电感升压式 LED 驱动器 .....	625
9.3 电容升/降压式电荷泵 LED 驱动器 .....	666
9.4 红绿蓝白(R、G、B、W)及有关 LED 光源管理驱动芯片 .....	685
9.5 高亮度低压差多端口及其他 LED 驱动器芯片 .....	707
9.6 各公司白光 LED 驱动器附表 .....	725
<b>第 10 章 电池充电电源芯片</b> .....	729
10.1 电池充电技术概述 .....	729
10.2 单节锂电池充电电源芯片 .....	732
10.3 多节电池充电器控制芯片 .....	757
10.4 镍氢镍镉电池充电电源芯片 .....	768
10.5 多化学类电池充电芯片 .....	778
10.6 充电控制管理及保护类芯片 .....	795
10.7 利用 USB 接口充电的充电器芯片 .....	818
<b>第 11 章 FPGA、MCU、USB、以太网、汽车等专用电源芯片</b> .....	836
11.1 FPGA 供电系统 IC 芯片 .....	836
11.2 MCU 专用电源 IC 芯片 .....	854
11.3 汽车与工业专用电源 IC 芯片 .....	872
11.4 电信电源及以太网供电(POE)IC 芯片 .....	900
11.5 热插拔隔离式 DC/DC 芯片 .....	928
11.6 USB 口供电电源及为 USB 外设供电电源 IC 芯片 .....	940
11.7 USB 外设电源芯片 .....	951
<b>第 12 章 电压基准芯片</b> .....	957
12.1 电压基准的类型及主要技术参数 .....	957
12.2 串联型电压基准芯片 .....	960
12.3 并联型电压基准芯片 .....	981
12.4 高精密度电压基准芯片 .....	989
12.5 可调节的电压基准芯片 .....	998



# 第 1 章

## 开关电源及同步整流技术

### 1.1 电源 IC 芯片的种类

以往的电源,不管是线性电源还是开关电源,均属于模拟控制类电源。而今,新型电源 IC 芯片发展日新月异,特别是 21 世纪以来,产品的技术指标及功能提高有了飞跃的发展。

新型电源 IC 芯片产品的种类很多,从原理上来讲,可分为线性电源 IC 芯片产品、开关电源 IC 芯片产品以及一些与电源相关的控制器、驱动器等附属产品,还有针对各类电池监控、测量、保护和充电管理的器件。

线性电源产品包括电压稳压器、低压差稳压器、电压基准源等。其优点是输出纹波小,线性度好,对后置设备的干扰小;缺点是体积较大,效率低,重量较重。传统电压稳压器输入/输出压差较大,通常在 1.5 V 以上,因此器件工作时自身功耗随负载电流的增加而增加,由于工作时温度较高,需添加散热器,散热器的大小可根据负载的大小而定,负载愈重,散热器愈大。传统电压稳压器售价比较便宜,适合于对功耗、体积没有太大要求的中小功率电源供电设备。新型低压差稳压器输入/输出压差很小,通常为几十毫伏至几百毫伏,且器件静态电流通常在微安级。由于可在很小的电压差下工作,因此损耗小效率高,特别适用于电池供电的小功率电源供电设备。

开关电源产品包括基于 DC/DC 升压器、DC/DC 降压器、DC/DC 反相器、电荷泵、AC/DC 变换器等。优点是体积小,效率高(通常在 80% 以上),重量轻;缺点是输出纹波较大,对后置设备有一定干扰。DC/DC 升压器、DC/DC 降压器、DC/DC 反相器、电荷泵适合于电池供电的便携设备。AC/DC 变换器可对 220 V 市电进行变换,产生 +3.3 V、+5 V、+9 V、+12 V 等工业标准电压。

针对各类电池监控、测量、保护和充电管理的器件称为电池管理器件,其中针对锂电池和镍氢电池的充电器是最常见的器件。

电压基准源具有很高的初始精度和很小的温度漂移特性,通常应用在 A/D 转换器、D/A 转换器、电源反馈取样电路等场合,它提供的是一个精密的电压基准,输出电流通常在几个毫安。

另外附属产品有 MOSEFT、MOSEFT 驱动器、外设驱动器/启动器、功率+陈列、功率+逻辑、功率+控制等产品。

## 1.2 数字电源简介

目前,数字电源在电源市场只占到10%的份额,主要原因是以往的数字电源让客户接受起来很困难。究其原因,一是需要复杂的软件编程;二是设计复杂、周期长。

### 1.2.1 新型数字电源优势

为了满足高可靠性电源系统需求,ADI、Microchip 等公司日前推出多款创新设计的数字电源 AC/DC 控制器。数字 PWM(脉宽调制)电源控制与管理器件可为设计工程师提供高度集成的电路架构和灵活性,利用直观的 GUI(图形用户界面)可以在几分钟内配置系统电源参数。即使是编程经验较少的电源工程师也可以利用 GUI 监控并快速调整电源功能,如频率、时序、电压设置与保护限制,而不必采用 C++ 或其他语言进行编程。在进行终端系统设计时,采用 ADP1043 或 dsPIC30F1010 可帮助系统集成人员优化电源能量效率,缩短设计周期时间,实现智能的电源管理系统。电源设计工程师可将其用于高可靠性服务器、存储器与通信基础设施设备中的 AC/DC,以及隔离的 DC/DC 电源设计。

### 1.2.2 ADI 公司的数字电源架构

在设计方面,ADI公司的单芯片 ADP1043 采用系统芯片技术,集成了所有典型的控制器功能(图 1.2.1),可支持不同的电路拓扑(正激类拓扑,推挽、半桥与全桥架构和两级 DC/DC),7 路 PWM 输出,频率范围最高可达到 700 kHz。具有可编程的 Type III 数字补偿器和“OR-ing”控制,I<sup>2</sup>C 通信与编程接口、可选的模拟或数字均流母线和 8 字节的片上 E<sup>2</sup>PROM,并有众多的故障检测与保护功能,可对功率、电流、电压、温度、占空比等参数进行监控。在设计过程中,还允许设计者使用相同的芯片来快速地进行多种电源设计,ADP1043 还能使复杂的电源架构改善效率。例如,ADP1043 可以在轻负载下对时序进行改变,以进一步改善整个负载范围内的效率。可编程的 GUI 界面加速了产品开发,ADP1043 精确的参数测量和 I<sup>2</sup>C 的通信能力为系统架构工程师提供了远程监测和智能电源管理的能力。

据了解,ADP1043 是 ADI 公司的第二代数字电源产品,采用了全数字解决方案。第一代数字电源产品是 2004 年推出的,采用的是模拟控制和数字接口方案。ADP1043 全数字解决方案的优点还体现在,适合应用在高效率、系统电源需要多个 PWM 通道、不需要复杂软件编程,可灵活调整运行中模式的高可靠性的高端应用市场。

### 1.2.3 Microchip 的 AC/DC 数字电源

近期针对开关电源(SMPS)应用定制的数字信号控制器(DSC)的发展使电源转换器的全数字控制成为可能。

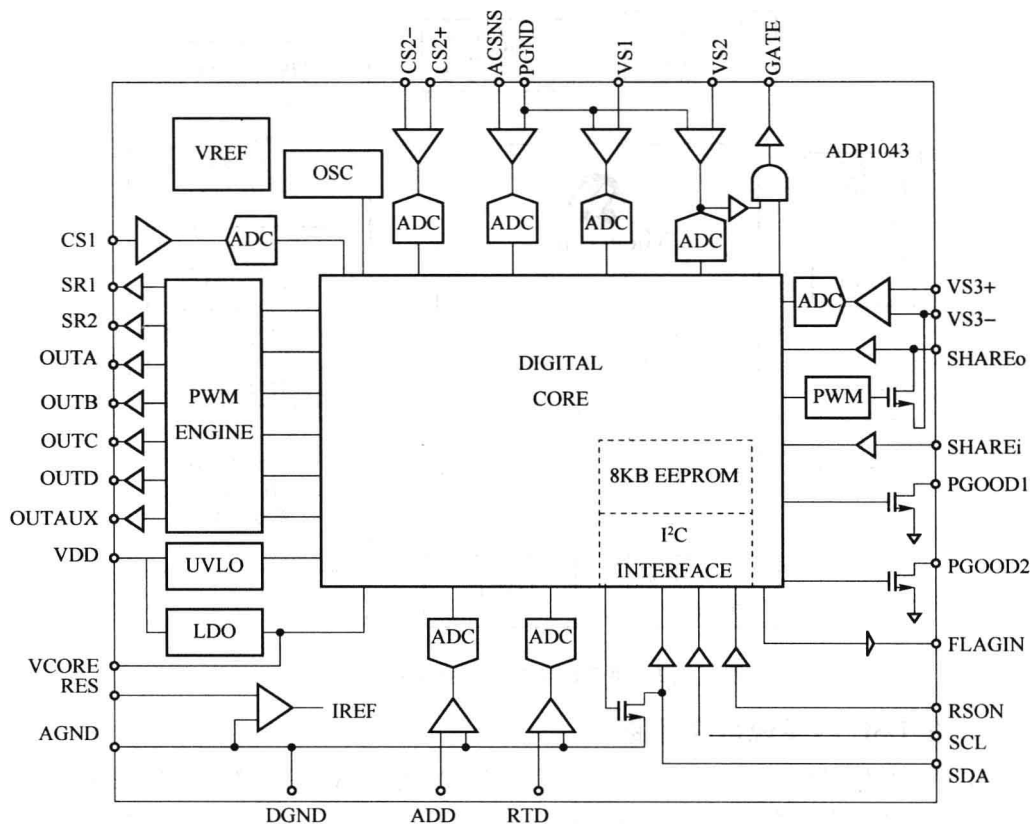


图 1.2.1 ADP1043 功能框图

## 1. AC/DC 数字电源的 DSC 架构

dsPIC30F1010/202X 系列数字电源芯片中的 DSC(数字信号控制器)具有单片机的外观和 DSP 的处理能力。DSC 的 DSP 部分执行基本的数学运算,以实现数字控制算法。图 1.2.2 是一个 DSC 示范的基本框图,它配备了实现全数字控制环路和各种外设功能的所有必要元素。该 DSC 内部具有一个 16 位的定点 DSP 引擎。

SMPS dsPIC DSC 真正具有创新性的方面在于结合了片上数字脉宽调制(PWM)、ADC 和模拟比较器模块的高性能。

高精度 RC 振荡器、内部锁相环电路、片上存储器和通信外设等功能部件有助于减少器件数量和提高电源可靠性。

在着手进行数字电源转换设计时,设计人员还必须考虑控制电路和 DSC 自身需要的辅助电源。图 1.2.2 中的 DSC 具有片上电源管理子系统,该子系统可提供上电复位和内部电压,为 DSC 供应所需的单电源电压。

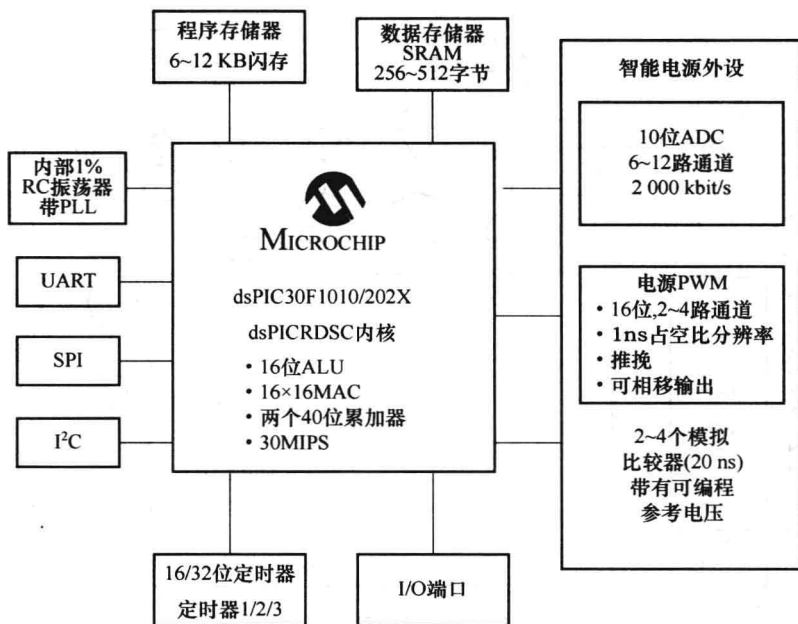


图 1.2.2 用于数字电源转换的 DSC 示例

## 2. 在 DSC 内实现数字环路

为了实现数字控制环路,首先需要将模拟信号通过 ADC 转换为数字采样,如图 1.2.3 所示。与 ADC 关联的采样/保持(S&H)电路通常每  $2\sim 10\ \mu\text{s}$  采样一次,而 ADC 大约需要  $500\ \text{ns}$  的时间将模拟反馈信号转换为数字值。

比例积分微分(PID)控制器是在 DSC 中运行的程序,其计算延时为  $1\sim 2\ \mu\text{s}$ 。控制器输出将转换为 PWM 信号,用于驱动开关电路。在给定新的占空比时,如果 PWM 发生器无法立即更新它的输出,那么它会引入很大的延时。此外,晶体管驱动器和关联的晶体管会产生  $50\ \text{ns}\sim 1\ \mu\text{s}$  的延时,实际取决于所用的器件和电路的设计。输出滤波器(通常使用电感与电容实现)也会产生很大的延时。

控制软件的“核心”是 PID 循环。PID 软件通常很小(一页或两页代码),但其执行速率很高,通常每秒可以重复执行数十万次。

在  $30\ \text{MIPS}$  的 dsPIC DSC 中执行时,以汇编语言实现的 PID 循环的执行时间约为  $1\ \mu\text{s}$ 。它在 ADC 中断服务程序中执行,进入该程序需要 5 个时钟周期,而执行需要 27 个时钟周期。

## 3. AC/DC 电源

图 1.2.4 给出了 AC/DC 电源的框图,这是一个利用数字电源转换技术的复杂电源产品的实例。

图 1.2.4 中的设计可分为三个主要部分;升压 PFC、隔离的 DC/DC 变换器和一组低压 DC/DC 同步降压变换器。 $V_{\text{AC}}$  输入电压在 PFC 电路中被转换为 DC,并升压到

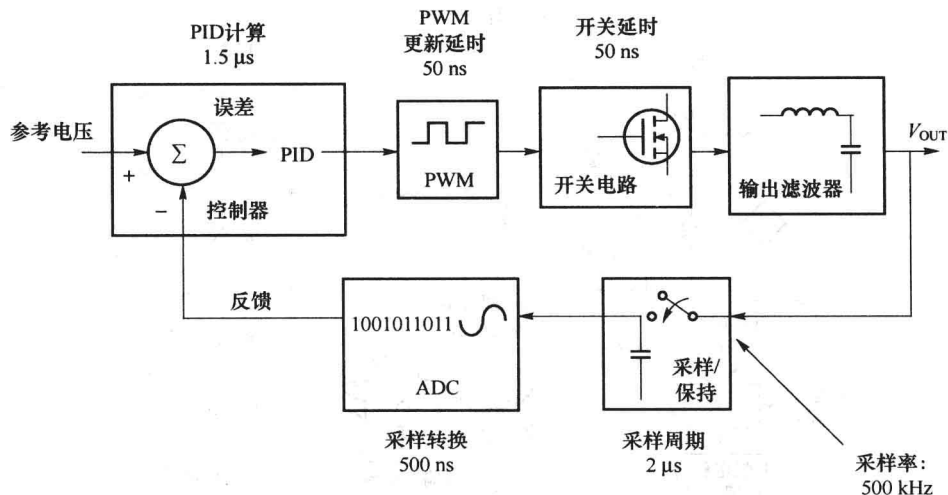


图 1.2.3 全数字 SMPS 控制系统示意图

400V<sub>DC</sub>；PFC 电路确保来自电源线的电流是正弦波，并与线电压同相。数字 PWM 是通过 PWM 互补对采用各自独立的时基实现附加的 PFC 功能的。

然后，这个 400V<sub>DC</sub> 电压送入全桥 DC/DC 调制器电路，该电路产生脉冲电压送至变压器。变压器隔离 AC 线路和 DC 输出电压，并将电压从 400V<sub>DC</sub> 转换为较低的电压。然后，变压器输入经整流和滤波后生成中间母线电压，比如 12V<sub>DC</sub>。该中间母线为一组同步降压转换器供电，以产生最终的输出电压。

Microchip 公司 dsPIC30F1010/202X 系列数字电源芯片性能如表 1.2.1 所列。

表 1.2.1 dsPIC 芯片性能

器 件	引脚数	闪存/KB	10 位, 2MSPS/CH	高速 PWM/CH	模拟比较器
dsPIC30F1010	28	6	6	4	2
dsPIC30F2020	28	12	8	8	4
dsPIC30F2023	44	12	12	8	4

### 1.3 开关电源工作原理

早在 20 世纪 60 年代，电源的开关方式调节首先应用在军用电源的设计中。它的优势在于重量轻和效率高，可以控制均衡电量的加载，就是控制均衡电压的供给，通过高速动作的开关量的开和关来实现。这种不同于线性稳压方式的电源称开关电源。

嵌入式控制系统的 MCU 一般都需要一个稳定的工作电源才能可靠工作。而设计者多习惯采用线性稳压器件(如 78xx 系列三端稳压器件)作为电压调节和稳压器件来将较高的直流电压转变为 MCU 所需的工作电压。这种线性稳压电源的线性调整工作方式在工作中会造成较大的“热损失”(其值为  $V_{\text{压降}} \times I_{\text{负荷}}$ )，其工作效率仅为 30%~

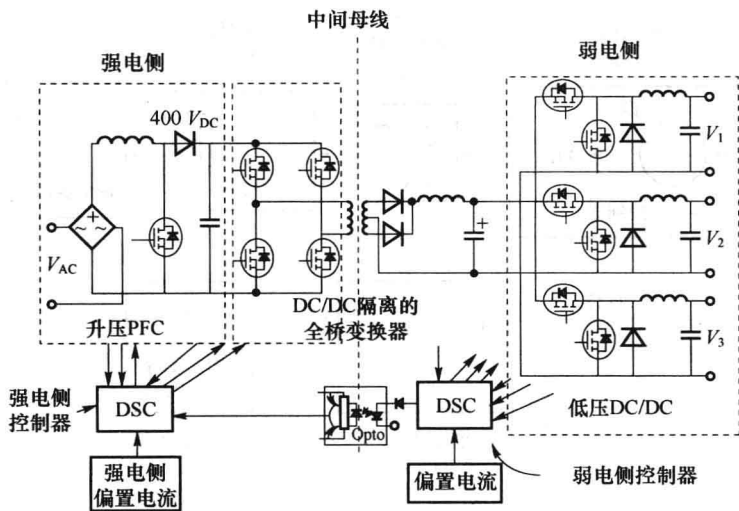


图 1.2.4 数字 AC/DC 电源框图

50%。加之工作在高粉尘等恶劣环境下往往将嵌入式工业控制系统置于密闭的容器中，不仅工作效率低，而且“热损失”产生的热量在密闭容器内的聚集也加剧了 MCU 的恶劣工况，从而使嵌入式控制系统的稳定性能变得很差。

而开关电源调节器件则以完全导通或关断的方式工作。因此，工作时要么是大电流过低导通电压的开关管、要么是完全截止无电流流过。因此，开关稳压电源的功耗极低，其平均工作效率可达 70~90%。在相同电压降的条件下，开关电源调节器件与线性稳压器件相比具有少得多的“热损失”。

而且开关电源的变压器体积比串联稳压型电源的要小得多，电源电路比较整洁，整机重量也有所下降。因此，开关稳压电源可大大减小散热片体积和 PCB 板的面积，甚至在大多数情况下不需要加装散热片，从而减少了对 MCU 工作环境的有害影响。

采用开关稳压电源来替代线性稳压电源作为 MCU 电源的另一个优势是：开关管的高频通断特性以及串联滤波电感的使用对来自于电源的高频干扰具有较强的抑制作用。此外，由于开关稳压电源“热损失”的减少，设计时还可提高稳压电源的输入电压，这有助于提高交流电压抗跌落干扰的能力。

### 1.3.1 开关电源简介

开关电源又分脉冲宽度调制(PWM)模式和脉冲频率调制(PFM)模式等。前者工作于固定开关频率，滤波电路设计较简单；后者则在小功率输出(轻负载)时，可望获得较低的静态电流。

PWM 模式开关电源工作原理示意图如图 1.3.1 所示。加载到电阻器上的平均电压  $V_o(\text{avg}) = (T_{\text{on}}/T) \times V_i$ ，这种控制方法就称为脉宽调制(PWM)模式。

开关电源的结构框图如图 1.3.2 所示，由对输出电压“采样”，并对基准源进行“比较”后控制“调整管”或“开关管”，此时开关电源的“开关管”相当于一个开关，开通时间

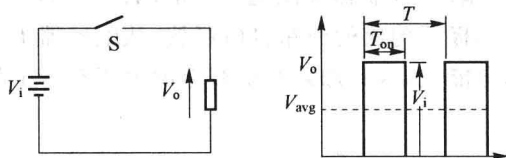


图 1.3.1 脉宽调制模式(PWM)原理示意图

由比较结果而定；当开关电源输出的电压太低时，通过“比较放大”控制“开关时间控制电路”使“开关管”开通时间变长，从而使输出的电压提升。

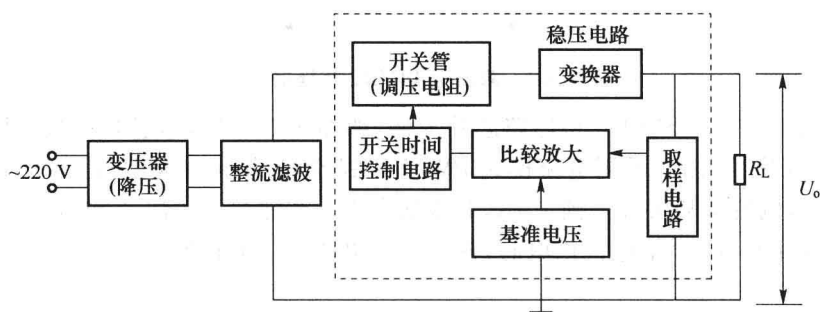


图 1.3.2 开关电源结构图

开关电源的核心部分是“开关管”和“变换器”组成的开关式直流/直流(DC/DC)变换器。它把直流电压  $V_i$  (一般由输入市电经整流、滤波后获得) 经开关管后变为有一定占空比的脉冲电压  $V_a$ ，然后经整流滤波后得到输出的电压  $V_o$ 。

开关电源可分为 AC/DC 和 DC/DC 两大类。按控制方式又分为 PWM 和 PFM 两类。Maxim 公司出口的降压型变换器的特点是在很宽负载电流范围内具有高于 90% 的效率，从很轻的负载(10 mA)到很重的负载(10 A)情况下均能最大限度地延长电池寿命，这类产品中的许多器件都采用了 Maxim 公司专有的 Idle Mode 控制方案，根据负载电流自动改变工作方式来延长电池的寿命，在重负载与中等负载情况下，采用脉冲宽度调制(PWM)以减少由于高峰值电流引入的电阻性损耗，在轻负载时，它们采用脉冲频率调制(PFM)使栅极充电损耗为最小，因而减少了静态电源电流。

Idle Mode 自动对负载变化做出响应以优化转换性能，它无需软件干预，简化了系统软件设计，然而，用户也可以取消这种自动切换而使其保持 PWM 方式，从而在轻负载下获得低噪声和固定频率输出纹波。

功率因数校正技术(起源于 1980 年)的发展，提高了 AC/DC 的功率因数，既治理了电网的谐波污染，又提高了电源的整体效率。

### 1.3.2 降压型 DC/DC 变换器

图 1.3.3 所示为降压型 DC/DC 变换器的原理电路，当控制器 IC 感应到输出电压  $V_o$  太低时，启动通道上的晶体管 Q 给电感路  $L$  充电，同时也对电容器  $C$  充电，当输出

## 第 1 章 开关电源及同步整流技术

电压  $V$ 。上升到一个预定值时,控制器关闭通道上的晶体管  $Q$ ,电感器  $L$  和电容器  $C$  上获取的能量通过肖特基二极管构成的回路自由释放,从电感器  $L$  到电容器  $C$  进行有效的能量传输会消耗一部分能量,因此加载在负载上的电压有所下降。

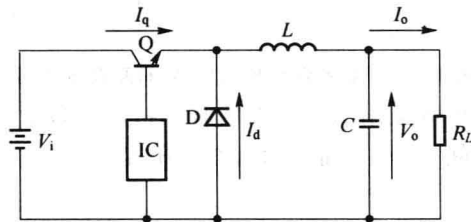


图 1.3.3 降压型 DC/DC 变换器电路

以 TI 公司的 TPS62000 型电路芯片为例,如图 1.3.4 所示,它是低噪声同步降压型 DC/DC 变换器,内部采用电流模式 PWM 控制器,工作频率典型值为 750 kHz。在关闭模式下,电流损耗可降低到  $1\mu\text{A}$ ,非常适合于 1 节锂离子电池、2 节到 3 节镍铬、镍氢电池或碱性电池。2 节电池供电时,输出最大电流为 200 mA;3 节电池供电时,输出最大电流为 600 mA。

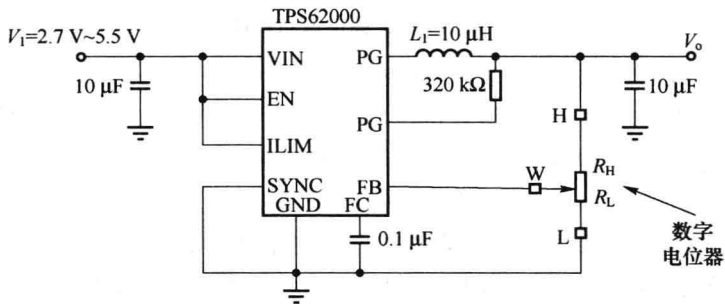


图 1.3.4 可调降压输出的典型应用电路

TPS62000DGS 的输出电压可调,通过调整反馈引脚 FB 的电压值来达到输出电压  $V_o$  的变化,采用数字电位器来调节反馈引脚 FB 的电压。在图 1.3.4 中,H 为数字电位器可调电阻器的高电压端,L 为数字电位器可调电阻器的低电压端,W 为数字电位器滑动电压输出端。输出电压的计算公式为  $V_o = 0.45\text{V} \times (1 + R_H/R_L)$ ,其中要求  $R_H + R_L = 1\text{M}\Omega$ 。以 Xicor 公司的 3 线接口 (CS、U/D、INC)、100 抽头 X9C104S 为例,其电位器阻值为  $100\text{k}\Omega$ ,每次调接的电阻值为  $1\text{k}\Omega$ 。3 线接口可设计成单片机控制或按键直接控制(外扩逻辑电路),在减小数字电位器  $R_L$  的阻值时,输出电压  $V_o$  会增加。由于该器件是 DC/DC 降压器件,因此输出电压  $V_o$  最大值为输入电压  $V_1$ 。

当数字电位器调节到  $R_H = 82\text{k}\Omega, R_L = 18\text{k}\Omega$  时,输出电压:

$$V_o = 0.45\text{V} \times (1 + 82\text{k}\Omega/18\text{k}\Omega) = 2.5\text{V};$$

当数字电位器调节到  $R_H = 85\text{k}\Omega, R_L = 15\text{k}\Omega$  时,输出电压:



$$V_o = 0.45 \text{ V} \times (1 + 85 \text{ k}\Omega / 15 \text{ k}\Omega) = 3.0 \text{ V}.$$

## 1.4 同步整流(SR)技术

电源变换器的使用越来越普遍,电子设备制造商需要其电源系统不断增加新的功能和特性,如更低的输入和输出电压、更高的电流、更快的瞬态响应。

为满足这些需求,在20世纪90年代晚期开关电源设计师开始采用同步整流(SR)技术——使用MOSFET来替代常用二极管实现的整流功能。SR提高了效率、热性能、功率密度、可制造性和可靠性,并可降低整个系统的电源系统成本。下面将介绍SR的优点,并讨论在其实现中遇到的挑战。

### 1.4.1 二极管整流的缺点

图1.4.1是非同步和同步降压变换器的原理图。非同步降压变换器使用FET和肖特基二极管作为开关器件(图1.4.1(a)),当FET打开时,能量传递到输出电感和负载。当FET关断,电感中的电流流过肖特基二极管。如果负载电流高于输出电感的纹波电流的一个半,则变换器工作在连续导通模式。根据正向电压降和反向漏电流特性来选择肖特基二极管。但是,当输出电压降低时,二极管的正向电压的影响很重要,它将降低变换器的效率。特理特性的极限使二极管的正向电压降难以降低到0.3V以下。相反,可以通过加大硅片的尺寸或并行连接分离器件来降低MOSFET的导通电阻 $R_{\text{DS(ON)}}$ 。因此,在给定的电流下,使用一个MOSFET来替代二极管可以获得比二极管小很多的电压降。

这使得SR很有吸引力,特别是在对效率、变换器尺寸和热性能很敏感的应用中,例如便携式或者手持设备。

MOSFET制造商不断地引入具有更低 $R_{\text{DS(ON)}}$ 和总栅极电荷(QG)的新MOSFET技术,这些新的MOSFET技术使在电源变换器设计中实现SR更加容易。

### 1.4.2 同步整流技术的概念

在同步降压变换器中,通过用两个低端的MOSFET来替换肖特基二极管可以提高效率(图1.4.1(b))。这两个MOSFET必须以互补的模式驱动,在它们的导通间隙之间有一个很小的死区时间(deadtime),以避免同时导通。同步FET工作在第三象限,因为电流从源极流到漏极。与之对应的非同步变换器相比,同步降压变换器总是工作在连续导通,即使在空载的情况下也是。

在死区时间内,电感电流流过低端FET的体二极管(body diode)。这个体二极管通常具有非常慢的反向恢复特性,会降低变换器的效率。可以与低端FET并行放置一个肖特基二极管以对体二极管实现旁路,避免它影响到变换器的性能。增加的肖特基二极管可以比非同步降压变换器中的二极管低很多的额定电流,因为它只在两个FET都关断时的较短的死区时间(通常低于开关周期的百分之几)内导通。