

单片开关电源的发展及其应用

河北科技大学(050054) 沙占友

摘要：目前中、小功率开关电源正朝着单片集成化的方向发展。本文详细阐述近年来问世的各种单片开关电源的性能特点及典型应用。

关键词：单片开关电源 脉宽调制 待机电源 可编程状态控制器

单片开关电源集成电路具有高集成度、高性价比、最简外围电路、最佳性能指标、能构成高效率无工频变压器的隔离式开关电源等优点。它于 90 年代中、后期相继问世后,便显示出强大的生命力,目前它成为国际上开发中、小功率开关电源、精密开关电源及电源模块的优选集成电路。由它构成的开关电源,在成本上与同等功率的线性稳压电源相当,而电源效率显著提高,体积和重量则大为减小。这就为新型开关电源的推广与普及,创造了良好条件。

1 集成开关电源的发展简况

开关电源被誉为高效节能电源,它代表着稳压电源的发展方向,现已成为稳压电源的主流产品。近 20 多年来,集成开关电源沿着下述两个方向不断发展。第一个方向是对开关电源的核心单元——控制电路实现集成化。1977 年国外首先研制成脉宽调制(PWM)控制器集成电路,美国摩托罗拉公司、硅通用公司(Silicon General)、尤尼特德公司(Unitrode)等相继推出一批 PWM 芯片,典型产品有 MC3520、SG3524、UC3842。90 年代以来,国外又研制出开关频率达 1MHz 的高速 PWM、PFM(脉冲频率调制)芯片,典型产品如 UC1825、UC1864。第二个方向则是对中、小功率开关电源实现单片集成化。这大致分两个阶段:80 年代初意—法半导体有限公司(SGS-Thomson)率先推出 L4960 系列单片开关式稳压器。该公司于 90 年代又推出了 L4970A 系列。其特点是将脉宽调制器、功率输出级、保护电路等集成在一个芯片中,使用时需配工频变压器与电网隔离,适于制作低压输出(5.1~40V)、大中功率(400W 以下)、大电流(1.5A~10A)、高效率(可超过 90%)的开关电源。但从本质上讲,它仍属 DC/DC 电源变换器。

1994 年,美国动力(Power)公司在世界上首先研制成功三端隔离式脉宽调制型单片开关电源,被人们誉为“顶级开关电源”。其第一代产品为 TOPSwitch 系列,第二代产品则是 1997 年问世的 TOPSwitch-II 系列。该公司于 1998 年又推出了高效、小功率、低价格的四端单片开关电源 TinySwitch 系列。在这之后, Motorola 公司于 1999 年又推出 MC33370 系列五端单片开关电源,亦称高压功率开关调节器(High Voltage Power Switching Regulator)。目前,单片开关电源已形成四大系列、近 70 种型号的产品。

2 TOPSwitch-II 系列三端单片开关电源

根据封装形式, TOPSwitch-II 可划分成三种类型: TOP221Y~227Y(TO-220 封装), TOP221P~224P(DIP-8 封装), TOP221G~224G(SMD-8 封装),产品分类详见表 1。其中以 TOP227Y 的输出功率为最大。

2.1 TOPSwitch-II 的性能特点

(1) TOPSwitch-II 内部包括振荡器、误差放大器、脉宽调制器、门电路、高压功率开关管(MOSFET)、偏置电路、过流保护电路、过热保护及上电复位电路、关断/自动重新启动电路。它通过高频变压器使输出端与电网完全隔离,使用安全可靠。它属于漏极开路输出的电流控制型开关电源。由于采用 CMOS 电路,使器件功耗显著降低。

表 1 TOPSwitch-II 的产品分类及最大输出功率 P_{OM}

产品型号	TO-220 封装(Y)		DIP-8 封装(P)/SMD-8 封装(G)		
	固定输入 (110/115/230 VAC±15%)	宽范围输入 (85~265V AC)	产品型号	固定输入 (110/115/230V AC, ±15%)	宽范围输入 (85~265V AC)
TOP221Y	12W	7W	TOP221P/G	9W	6W
TOP222Y	25W	15W	TOP222P/G	15W	10W
TOP223Y	50W	30W	TOP223P/G	25W	15W
TOP224Y	75W	45W	TOP224P/G	30W	20W
TOP225Y	100W	60W	—	—	—
TOP226Y	125W	75W			
TOP227Y	150W	90W			

(2) 只有三个引出端:控制端 C、源极 S、漏极 D, 可同三端线性稳压器相媲美,能以最简方式构成无工频变压器的反激式开关电源。为完成多种控制、偏置及保护功能,C、D 均属多功能引出端,实现了一脚多用。以控制端为例,它具有三项功能:①该端电压 VC 为片内并联调整器和门驱动级提供偏压;②该端电流 IC 能调节占空比;③该端还作为电源支路与自动重新启动/补偿电容的连接点,通过外接旁路电容来决定自动重新启动的频率,并对控制回路进行补偿。

(3) 输入交流电压的范围极宽。作固定电压输入时可选 220V±15% 交流电,若配 85~265V 宽范围变化的交流电,最大输出功率要降低 40%。开关电源的输入频率范围是 47~440Hz。

(4) 开关频率典型值为 100kHz,占空比调节范围是 1.7%~67%。电源效率为 80% 左右,最高可达 90%,比线性集成稳压电源提高近一倍。其工作温度范围是 0~70℃,芯片最高结温 $T_{JM}=135℃$ 。

(5) TOPSwitch-II 的基本工作原理是利用反馈电流 IC 来调节占空比 D,达到稳压目的。举例说明,当由于某种原因致使开关电源的输出电压 $V_o \uparrow$ 时,经过光耦反馈电路就使 $I_c \uparrow \rightarrow$ 误差电压 $V_r \uparrow \rightarrow D \downarrow \rightarrow V_o \downarrow$,使 V_o 保持不变。反之亦然。

(6) 外围电路简单,成本低廉。外部仅需接整流滤波器、高频变压器、初级保护电路、反馈电路和输出电路。采用此类芯片还能降低开关电源产生的电磁干扰。

2.2 典型应用

TOPSwitch-II 可广泛用于仪器仪表、笔记本电脑、移动电话、电视机、VCD 和 DVD、摄录像机、电池充电器、功率放大器等领域,并能构成各种小型化、高密度、低成本的开关电源模块。此外,它还适合构成后备式开关电源,非隔离式开关电源、恒流恒压输出开关电源,供无线通信用的 DC/DC 电源变换器、恒功率调节器、功率因数补偿器等。

2.3 电路设计要求

(1)TOPSwitch-II 的反馈电路中需配光电耦合器与输出电路隔离。设计精密开关电源时,还应增加一片 TL431 型可调式精密关联稳压器,由它构成外部误差放大器,来代替取样电路中的稳压管。精密开关电源的电压调整率 S_v 、电流调整率 S_I 均可达 ±0.2% 左右,接近于线性集成稳压电源的指标。

(2)应选用电流传输比(CTR)能线性变化的光电耦合器,如 PC817A, NEC2501、6N137 等型号,不推荐采用 4N25、4N35 等 4N××型普通光耦。后者的线性度差,传输模拟信号时会造成失真,

影响开关电源的稳压性能。

(3)高频变压器的初级必须设置保护电路,用以吸收漏感引起的尖峰电压,确保 MOSFET 不被损坏。这种保护电路应并联在初级上,具体有 4 种设计方案:①由瞬变电压抑制二极管(TVS)和超快恢复二极管(SRD)组成钳位电路;②由 TVS 与硅整流管(VD)构成的钳位电路;③由阻容元件与 SRD 构成的吸收电路;④由阻容元件与 VD 构成的吸收电路。上述方案中以①的效果最佳,能充分发挥 TVS 响应速度极快、可承受高能量瞬态脉冲之优点。方案②次之。

(4)使用芯片时需加合适的散热器。对于 TO-220 封装,可直接装在小散板上。对于 DIP-8 和 SMD-8 封装的可将 4 个源极焊在面积为 2.3cm² 的印制板敷铜箔上代替散热片。

(5)为抑制从电网引入的干扰,也防止开关电源产生的干扰向外部传输,需在电源进线端增加一级电磁干扰滤波器(EMI filter),亦称电源噪声滤波器(PNF)。

(6)使用此类芯片时,源极引线要尽量短。为使空载或轻载时输出电压稳定,应在稳压电源输出端接一只几百欧的电阻作为最小负载,亦可并联一只稳压管。

3 TinySwitch 系列四端开关电源

TinySwitch 是 Power 公司新推出的一种高效、小功率四端单片开关电源。因所构成开关电源的体积很小,故称 TinySwitch(微型开关)系列。它比三端单片开关电源增加一个使能端,使用更加方便灵活。TinySwitch 系列性优价廉,外围电路非常简单,特别适合制作 10W 以下的微型开关电源或待机电源,是取代效率低、体积较大的小功率线性稳压电源的理想产品。

3.1 TinySwitch 的性能特点

(1)TinySwitch 有 DIP-8、SMD-8 两种封装形式、6 种型号。产品分类见表 2。尽管采用 8 脚封装,实际上只有四个脚:S、D、BP(相当于控制端)、EN(使能端),因此等效于四端器件。利用使能端可从外部关断 MOSFET,并且在快速上电时输出电压无过冲现象、掉

表 2 TinySwitch 产品分类及最大输出功率

产品型号	最大输出功率 $P_{om}(W)$		开关频率 $f(kHz)$	封装形式
	输入 115/230VAC	输入 85~265VAC		
TNY 253P	4	2	44	DIP-8
TNY 253G	4	2	44	SMD-8
TNY 254P	5	4	44	DIP-8
TNY 254G	5	4	44	SMD-8
TNY 255P	10	6.5	130	DIP-8
TNY 255G	10	6.5	130	SMD-8

电时 MOSFET 也无频率倍增现象。

(2) 高效、小功率输出。选 220V 交流电源时,其空载功耗低于 60mW。它适宜制作 0~10W 的小功率、低成本开关电源,比线性稳压电源大约可节电 38%。

(3) 采用开/关控制器来代替 PWM 对输出电压进行调节。开/关控制器可等效为脉冲频率调制器(PFM),其调节速度比普通的 PWM 更快,对纹波抑制能力更强。

(4) 与 TOPSwitch-II 相比,它在电路设计上颇具特色。第一,交流输入端可省掉 EMI 滤波器;第二,初级保护电路不需使用 TVS,仅用 RC 电路即可吸收尖峰电压;第三,不用反馈线圈及相关电路,也不加回路补偿元件;第四,芯片内部增加了使能检测与逻辑电路。

3.2 TinySwitch 的应用

该系列产品适合制作手机电池恒压恒流充电器、IC 卡付费电表中的小型开关电源模块,以及微机、彩电、摄录像机等高档家用电器中的待机电源。例如,目前生产的大屏幕彩电均具有待机功能,使用遥控器关闭电源之后,即进入待机状态。此时彩电中开关电源的功率开关管呈关断状态,改由待机电路继续给 CPU 供电,使整机功耗降至最低。由 TNY253P 可构成 5V、1.3W 的彩电待机电源。它利用彩电主电源产生的直流高压作输入电压 V_i , V_i 的允许范围是 120~375V (视彩电型号而定),而 $V_o=+5V$ 。使用一片 TNY255P 则可构成 PC 机的 5V、2A 待机电源。由 TNY254P 构成的 +6.7V、3.6W 手机电池恒压、恒流充电器,能在 85~265V 交流输入电压范围内,对 6V 镍氢(NiMH)电池充电。此外,TinySwitch 还适合制作小型家电(如随身听)的适配器(adapter),将 220V 交流电源变成所需直流稳压电源。这种适配器不仅没有笨重的变压器,而且效率高、体积小、稳压性能好,能完全取代目前市售的各种插头式 AC/DC 变换器。

4 MC33370 系列五端单片开关电源

MC33370 系列包括 MC33369~MC33374 五种规格、17 种型号。以 TO-220 五脚直弯式封装为例,其产品分类见表 3。表中的 $R_{DS(ON)}$ 表示漏-源极导通电阻, $I_{D(PK)}$ 代表漏极峰值电流。

4.1 MC33370 的性能特点

(1) 它比 TOPSwitch-II 增加了电源端(V_{CC})和状态控制器的输入端(State Control Input);芯片内部增加了欠压锁定比较器、外部关断电路和可编程状态控制器。其性价比要优于 TOPSwitch-II,而外围电路更趋简单。

表 3 MC33370 系列部分产品的分类

型号	最大输出功率 $P_{OM}(W)$		功率开关管(MOSFET)	
	固定电压输入 (110/115/230VAC)	宽范围输入 (85~265VAC)	$R_{DS(ON)}$ (Ω)	$I_{D(PK)}$ (A)
MC33369TV	20	12	12	0.5
MC33370TV	40	25	12	0.9
MC33371TV	75	45	6.8	1.5
MC33372TV	100	60	4.8	2.0
MC33373TV	125	75	3.8	2.7
MC33374TV	150	90	3.0	3.3

(2) 利用可编程状态控制器及外部模式选择电路,能实现多种控制方式(包括手动控制、由微控制器 MCU 操作、数字电路控制、禁止操作等),实现工作状态与备用状态的互相切换。

(3) 内部集成了一只被称为“敏感场效应管(Sense FET)”的电流传感式功率开关管,用它能无功率损耗地实时检测漏极电流 I_D 的大小,进行过流保护。

(4) 当交流电源为固定值或变化率不超过 $\pm 20\%$ 时,允许去掉高频变压器的反馈线圈以及相关的高频滤波电路。这有助于进一步简化外围电路,降低开关电源的成本。为满足特殊应用的需要,还可给开关电源增加软启动功能。

(5) 电源效率高。由它构成开关电源或电源模块的效率可达 80% 以上。在备用状态下静态功耗低至几十至几百毫瓦。

(6) 占空比调节范围更宽,可达 0.1~74%。脉宽调制增益的典型值为 $-14\%/mA$ 。芯片的工作结温是 $-40\sim 150^\circ C$,过热保护温度定为 $157^\circ C$ (TOPSwitch-II 仅为 $135^\circ C$)。

4.2 MC33370 的应用

MC33370 系列可广泛用于办公自动化设备、仪器仪表、无线通信设备及消费类电子产品中,构成高压隔离式 AC/DC 电源变换器。在作特殊应用时,还可去掉高频变压器的反馈绕组及快恢复二极管、滤波电容,改用稳压管或双极型晶体管、MOS 管来进行串联调整。此外,利用这种芯片还能制作高压步进电源。

参考文献

- 1 Power.Supplemental Data Book and Design Guide,1998
- 2 Motorola 公司产品手册,1999
- 3 沙占友,新型特种集成电源及其应用。北京:人民邮电出版社,1998.3
- 4 沙占友等,新编实用数字化测量技术。北京:国防工业出版社,1998.1

(收稿日期:1999-11-15)