

多相 DC-DC 主板电源控制器的设计

郭国勇 石秉学

(清华大学微电子学研究所, 北京 100084)

摘要: 采用 $1.2\mu\text{m}$ BiCMOS 工艺设制了多相控制器电路. 测试结果表明, 该控制器符合 Intel 公司为 P4 处理器电源制定的 VRM 9.0 标准.

关键词: BiCMOS; 多相; DC-DC; 平均电流共享

EEACC: 2570B; 2570D

中图分类号: TN433

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2004)12-1701-05

1 引言

与传统的同步单相降压型电源相比, 多相 DC-DC 控制器有其独特的优势, 包括: 输出电流大, 可以达到 100A; 工作电压低, 最低可以到 0.8V; 输出电压的等效频率是原来的 n 倍 (n 是多相电源的并联相数), 同时由于等效频率的提高, 系统的单位增益带宽可以提高到原来的 n 倍, 负载的瞬态响应可以到 $50\text{A}/\mu\text{s}$.

多相 DC-DC 控制器需要精确的电流共享机制, 以保证各相电流的平衡, 防止其中某一相电路在大的电流应力下无法正常工作^[1]. 如果没有电流共享, 即使电路中某处元器件值或者寄生参数有稍微的不平衡, 也可能导致各相电流有显著的区别^[2]. 本文提出的芯片中, 成功应用了平均电流共享方法. 在平均电流共享中, 取所有相的电流的平均值作为参考电流, 并使各相电流随着平均值变化, 以达到电流均衡. 本文提出了一种新的多相 PWM DC-DC 控制器, 通过平均分配功耗和电流, 可以为负载提供更大的电流. 控制器的优点还包括为处理器提供了从 1.1~1.85V、变化步长为 25mV 的 VID 可编程电压.

该控制器的设计难点包括电流检测, 电流环路的稳定性, 多相控制信号的分配等, 将在下面作详细说明.

2 电压环路和平均电流共享环路

图 1 所示是电压环路和电流共享控制环路, 为简单起见, 用两相电路表示. 电压环路和电流环路均用于精确控制输出电压值和各相电感电流的值 I_1 及 I_2 . 电压环路包括误差放大器、比较器及功率级, 平均电流共享包含在每个电压环路中, 并假设电流共享的参数是相等的.

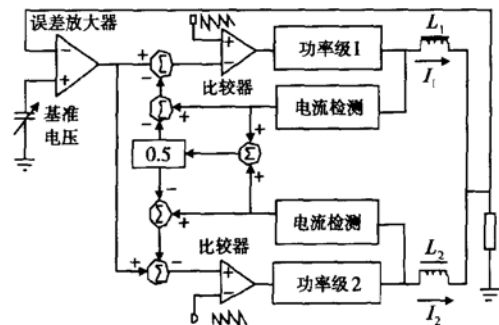


图 1 电压环路和电流共享控制环路

Fig. 1 Loop of voltage and control loop of current sharing

电压环路的稳定性已经在一些文献中讨论过, 这里不再赘述^[3]. 对平均电流共享来说, 两相电流的平均值作为参考电流, 并与各相电流相比较, 电流差用来调节各相电流的不平衡, 从而各相电流随着平均电流的变化而变化.

如果没有电流共享, 各个电压环路中任何参数

(如电感、电感寄生电阻、功率管导通电阻、锯齿波的峰值等)微小的偏差,均可能导致各相电感电流有显著的差别.

电流环路的稳定性以及电流环路如何影响电压环路的稳定问题,是多相控制器设计的一个技术难点.关于这个问题,下一节中还有详细的讨论.

3 多相控制器设计的关键及解决方法

如何有效地运用多相控制器,有几个关键的问题需要解决.这些问题和解决的方法如下:

3.1 电流检测和电流共享

负载电流平均分配到各相电源中是相当重要的.不幸的是,实际中主板上元器件的寄生参数不同,各相与负载连接的距离不一样,以及其他非理想因素,均可能引起电流共享的不平衡.

精确检测各相电流是电流共享的前提条件.传统的检测方法是在电流通路上插入一个电阻,即串联一个小的精确电阻到电感上,通过测量电阻上的电压来表征电流.上述方法最大的缺点是,在负载需要大电流的时候,电阻上消耗的能量较大,导致系统的效率较低.图2提出了一种新的电流检测方法,检测电阻与下级功率管并联,由于ISEN点电压虚地(即电压近似为0),当下级功率管导通的时候,如果检测电流,则检测电阻上的电流与电感电流成正比.假设功率管的导通电阻 R_{dson} 为 $4\text{m}\Omega$,检测电阻 R_{isen} 为 $2\text{k}\Omega$,负载电流 I 为 50A ,则检测电流 I_{isen} 可以表示为:

$$I_{isen} = (R_{dson}/R_{isen}) * I = 100\mu\text{A} \quad (1)$$

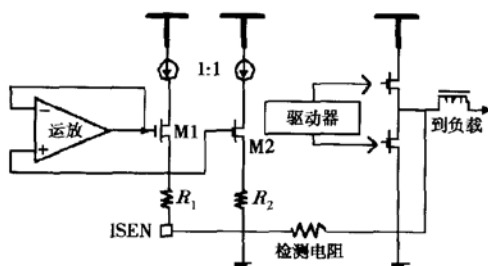


图2 电流检测原理图

Fig. 2 Diagram of current sensing

与传统的检测方法相比较,功耗大约是原来的百万分之二,极大地降低了电流检测的功耗.

环路(包括运算放大器、电阻 R_1 、 R_2 、MOS管M1和M2及电流镜)用来保证ISEN点的虚地.在电流检测模块中有两个问题需要注意:一是运算放大器的失调电压对ISEN的虚地电压有很大的影响,采用稳波斩零或者加大运算放大器的输入管及负载管的 W 和 L ,均可以减小失调电压.二是环路的稳定性,要保持足够的增益裕度,以保证环路能稳定地工作.

电流共享如图3所示,其中 $I_{某相}$ 表示某一相的检测电流, $I_{平均}$ 表示各相检测电流的平均值, $I_{某相}$ 与 $I_{平均}$ 的差送到开关电容网络.开关电容网络提供了一个零点和极点,属于低通滤波网络,可以滤除电流差信号中不必要的高频开关信号.网络中的参数 k , G , C_1 , C_2 需要放在整个电压环路中,用MATLAB工具Simulink来确定.

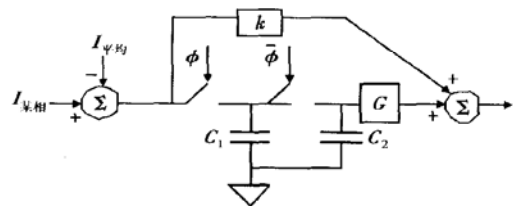


图3 电流共享原理图

Fig. 3 Diagram of current sharing

3.2 多相控制信号分布

随着多相控制电源并列数的增加,相位控制信号的设计也变得很复杂.然而数字电路可以解决这个问题.采用DSP模块,系统可以根据外部条件决定电源是两相、三相或者四相工作,因此设计难度并没有随着并列相数的增加而增加.传统电源都是全部采用模拟电路来实现的,数字电路在电源中的大量应用是一个新的趋势,能实现更多的功能,满足系统上更多的指令要求.

3.3 振荡器

为了给多相控制逻辑信号提供系统时钟,设计了振荡器模块.振荡器的频率决定了PWM信号的频率.输出电压的纹波可以随着PWM信号频率的提高而减小,但是开关频率的增加,会导致功率MOS管的开关损耗增加,因此时钟频率需要能外加电阻进行选择.

图4(a)为振荡器的电路原理图.通过反馈,恒

电流源可以对内部电容进行充放电, 电容的高低电平由基准电压源和分压电阻决定. 通过在 FS 端外接一个电阻, 可以调节时钟频率. 电容电压时钟的模拟结果如图 4(b) 所示.

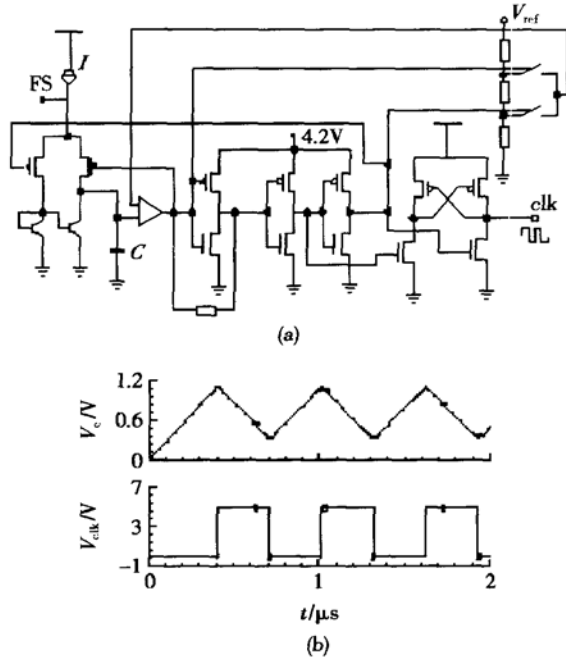


图 4 振荡器 (a) 原理图; (b) 模拟结果

Fig. 4 Oscillator (a) Diagram; (b) Simulation results

3.4 控制器的启动过程及其他功能

控制器中需要加入各种功能, 以保护控制器本身和负载 CPU, 如软启动过程、低压保护、过压保护、过流保护及输出电压定位功能等, 这些功能可以在不增加电路设计复杂度的情况下用数模混合简单实现.

例如, 软启动功能传统上是通过恒定电流源对外接电容充电实现的, 其缺点是芯片多了一个 PAD. 在本文中, 用一个简单的 DAC 来代替, 启动时间可以简单地通过编程进行调节.

4 多相控制器总体结构

多相 DC-DC 电源的总电路如图 5 所示, 虚线内部即是所设计的控制器, 外部是附属元件和驱动器. 当输入电压 V_{cc} (12V) 和 V_{in} (5V) 上升到高于阈值时, 上电复位电路输出一个启动信号, 整个系统开始工作. V_{DACOUT} 和输出电压反馈信号的差值通过误差放大器放大. 电流共享模块输出的是各相电流和平均电流的差, 电流差转变为电压信号, 并与前面的电压放大信号相加, 与同锯齿波信号比较后, 生成 PWM 信号, 驱动功率 MOS 管.

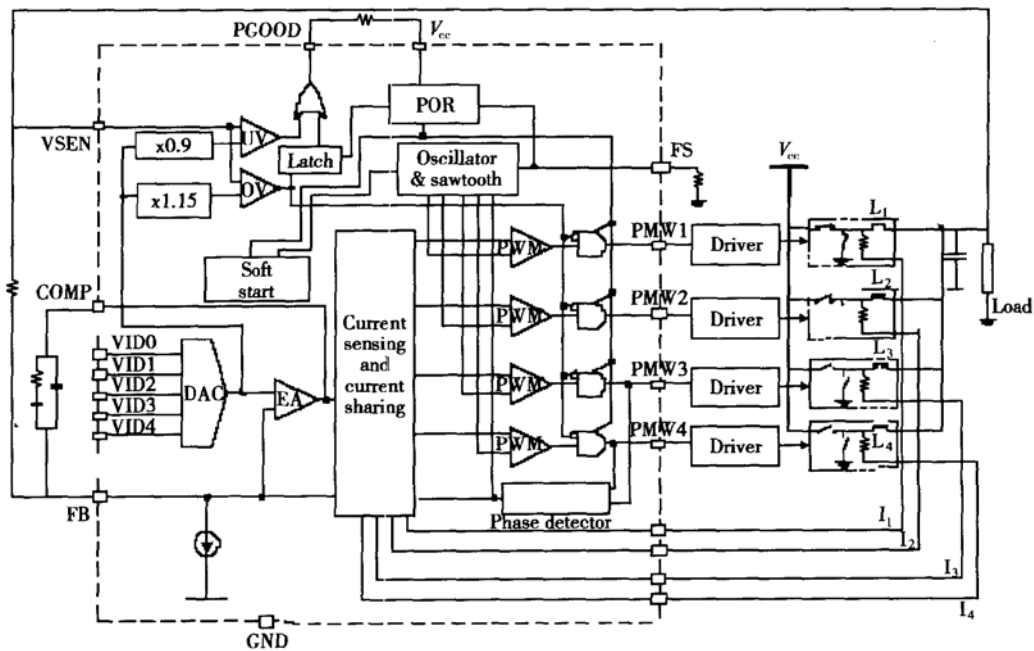


图 5 多相控制器总体结构

Fig. 5 Total structure of multiphase controller

为了驱动外部大的功率 MOS 管, PWM 信号需要通过驱动器模块, 放大驱动能力. 另外为了保护控制器和微处理器, 控制器还提供了过压保护、低压保护及过流保护, 软启动模块.

5 实验结果

控制器已经采用 $1.2\mu\text{m}$ BiCMOS 工艺进行了流片, 芯片版图如图 6 所示, 该芯片通过了实装测试和实验室的详细测试, 测试条件基于图 5. 实装测试中, 该电路已经应用于 Pentium IV 主板, 经过几个月各种条件的测试, PC 工作正常.

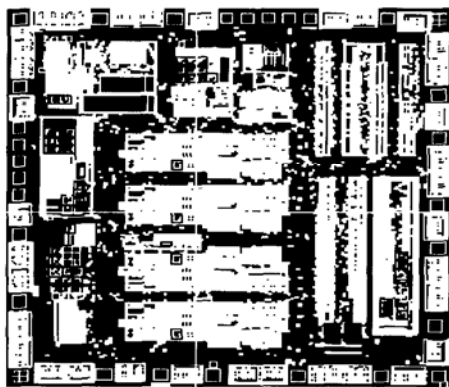


图 6 多相电源控制器的版图照片
Fig. 6 Layout of multiphase controller

图 7 所示为多相控制器的启动过程, 其中 V_{core} 是输出电压, PGOOD 是电源稳定工作的指示信号. 图 8(a) 和(b) 所示为两相电源的电流平衡能力. 电流平衡能力是多相电源最重要的指标, 在测试中, 不平衡的条件是电感, 因为在各种参数的不平衡中, 电

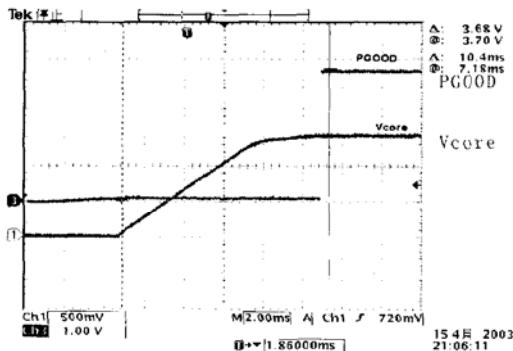
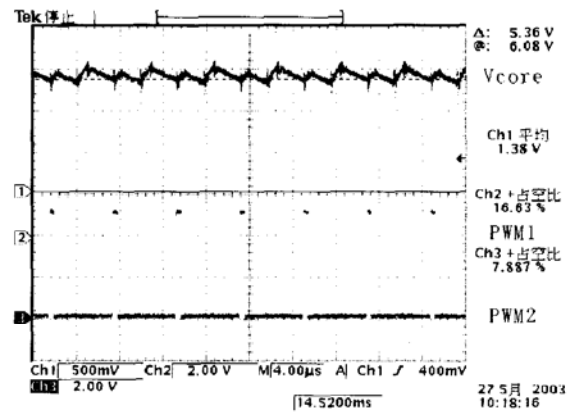
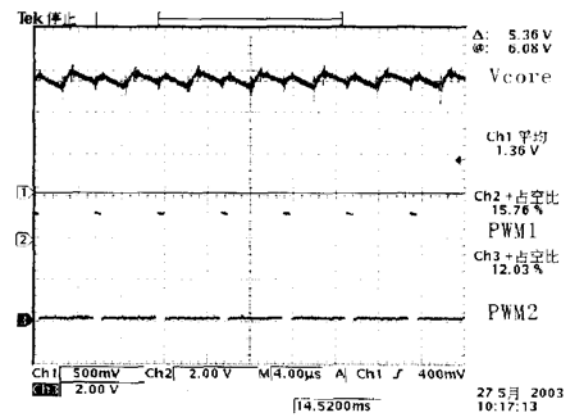


图 7 控制器的启动过程
Fig. 7 Start up process of controller

感不平衡对电流的影响是最显著的. 图 8(a) 表示没有电流共享时的电流平衡, 两路 PWM 信号的占空比相差 8%; 图 8(b) 是有电流共享的电流平衡, 两路 PWM 信号的占空比差减小到 3%. 从实验结果可以看到, 多相控制器电流环路的参数选择是正确的, 电流共享可以很好地保证相位电流的平衡. 另外 V_{core} 的波动电压测试结果也表示在图 8 中, 只有 150mV.



(a)



(b)

图 8 电流平衡 (a) 没有电流共享; (b) 有电流共享

Fig. 8 Current balancing (a) Without current sharing; (b) With current sharing

6 结论

本文提出了一种对新一代微处理器供电的多相电源控制器, 并采用 $1.2\mu\text{m}$ BiCMOS 工艺进行了流片. 和传统的单相控制器比较, 多相控制器电源可以提供更大的电流、更低电压和快速的负载瞬态响应. 基于平均电流共享, 各相电流可以很好地保持平衡.

测试结果表明该控制器符合 Intel 对 P4 CPU 供电电源规定的 VRM 9.0 标准^[4]。

参考文献

- [1] Zhou X W, Wog P, Lee F. Investigation of candidate VRM topologies for future microprocessors. IEEE Trans Power Electron, 2000: 1172
- [2] Zhou X W, Xu P, Lee F. A novel current sharing control technique for low voltage high current voltage regulator module applications. IEEE Trans Power Electron, 2000: 1153
- [3] Chen L, Shi B X, Lu C. A hybrid 4-in-1 DC-DC controller chip for a PC main-board. International Journal of Electronics, 2001, 88: 789
- [4] VRM 9.0 DC-DC Converter Design Guidelines. Intel Corp, 2000

Design of Multiphase DC-DC Controller for Motherboard

Guo Guoyong and Shi Bingxue

(Institute of Microelectronics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The multiphase controller is fabricated with 1.2 μ m BiCMOS process. Experimental results verify that it meets the specifications of Intel's VRM 9.0 design guideline for the power supply of high-performance Pentium IV central processing units.

Key words: BiCMOS; multiphase; DC-DC; average current sharing

EEACC: 2570B; 2570D

Article ID: 0253-4177(2004)12-1701-05