

飞兆半导体特稿

2009年4月

经由初级端进行精准输出电压与电流调节控制的高效率充电器电源设计

作者：飞兆半导体公司李俊庆与谢士弘

摘要

近年来消费性电子产品市场持续增长，不断要求电源必须更“省电”和更“小型化”，于是国际组织例如“能源之星”开始规范对于电源设备的节能要求，尤其最需要规范的是需要恒流充电模式 (Constant Current output regulation, CC) 与恒压充电模式 (Constant Voltage output regulation, CV) 的电池充电器，它是最常使用也最广泛地使用在我们身边的，应用的范围包括：掌上型电子式产品、PDA、MP3播放器和数码相机等。然而多数的充电器大多采用次级端反馈控制的方式调节输出，这种控制的方法并无法减少组件数目，提升效率与缩小体积，而且难以降低成本，于是新架构的初级端调节控制便衍生出来。本篇文章在探讨一个专利技术叫做“初级端调节控制器 (Primary Side Regulation, PSR)”，这种PSR控制器不需要次级端的反馈线路便可在初级端精准地控制充电器输出的CV/CC，实现省电、高效率 and 低成本的电源。这种 PSR 不仅包含了跳频 (Frequency hopping) 机制来降低 EMI，更包括了省电模式 (Green mode function) 降低待机时的电源消耗。根据实验的结果，这种具有初级端调节控制的充电器相对于传统采用 RCC 或 PWM 的控制方法，更可以达到低成本、省电和高效率的电源，所以这种 PSR 控制方法提供电源朝向低成本的最佳解决方案。

简介

图 1 为传统反激式转换器的电池充电器应用范例，它包含了次级端 CV 控制线路与 CC 控制线路，光耦合器的作用在耦合次级端的控制信号到初级端的 PWM 控制器，PWM 控制器会根据次级端的控制信号调整 MOSFET 的开关周期大小，达到随次级端负载改变时仍然可以稳定输出负载所需的电压与电流。这种控制方法的缺点在于需要有较多的次级端控制组件，而这意味着必须有较多的 PCB 板空间与较高的成本；除此之外，光耦合器有可能造成漏电的潜在危险，并且二次端侦测输出电流的电阻 R_O 将增加功率的损耗而降低整体电源的效率。

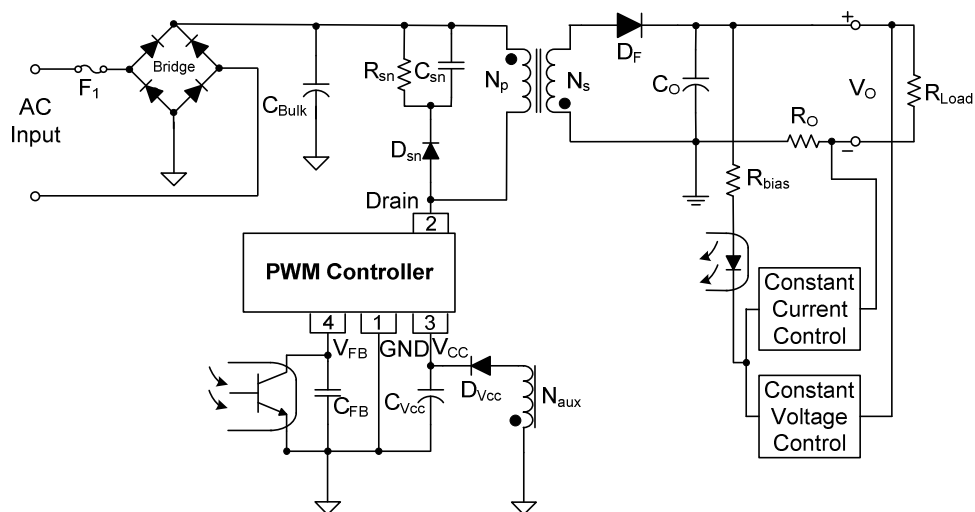


图1 传统采用次级端控制线路的返驰式转换器

初级端调节控制的基本概念

图2为采用初级端调节控制的反激式转换器设计范例。PSR控制器为了获得次级端输出电压的信息，采用独特的方式侦测变压器辅助绕组上的波形，以获得次级端的输出信息进行反馈控制。图3所示为主要的工作波形。

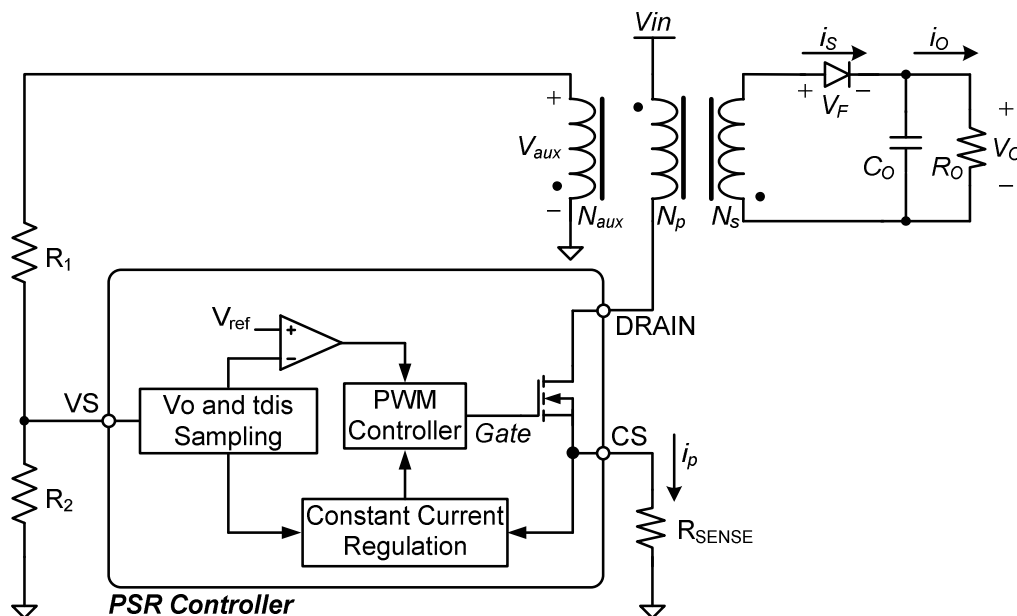


图2 采用PSR控制的返驰式转换器电路图

对于采用 PSR 控制器的反激式 (flyback) 转换器工作于不连续导通模式之下会获得较好的输出调节能力。因此转换器的工作原理如下：

- 当 PSR 内部的 MOSFET 导通时 $[t_{on}]$ ，输入端电压 V_{IN} 会建立在变压器的两端，因此变压器初级端的电流 i_p 将会由零线性地上升到 i_{pk} ；所以 i_{pk} 可以由式 (1) 推导出。在这段时间，输入端的能量会储存在变压器中。
- 当 MOSFET 截止时 $[t_{off}]$ ，原本存储在变压器的能量会使次级端的二极管导通，将能量传给负载端。在这段时间，输出端的电压与次级端二极管的顺向导通电压将会反射到辅助绕组，因此可将辅助绕组电压 V_{AUX} 表示为式 (2)。此时 PSR 内部的采样机制将会采样辅助绕组上的电压，而输出电压的信息将会随次级端电流减少而得知。PSR 取得输出电压的信息后会与内部参考电压 V_{REF} 比较，形成一个电压回路控制 MOSFET 的导通时间以稳定恒定的输出电压。
- 当次级端的输出二极管上的电流减少为零时，此时辅助绕组上的电压会因为变压器的电感与 MOSFET 上输出电容 C_{OSS} 产生谐振，直到 MOSFET 再次导通。

$$i_{pk} = \frac{V_{in}}{L_p} \times t_{on} \quad (1)$$

$$V_{aux} = \frac{N_{aux}}{N_s} \times (V_O + V_F) \quad (2)$$

其中 L_p 为变压器初级端的感量； t_{on} 为 MOSFET 的导通时间； N_{AUX}/N_S 为变压器辅助绕组与次级端绕组的圈数比； V_O 为输出电压； V_F 为次级端输出二极管的正向导通电压。

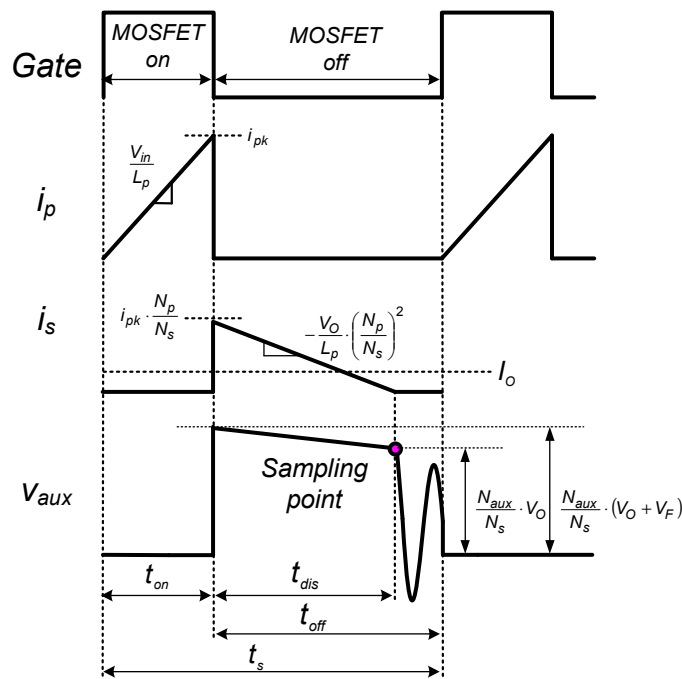


图 3

这个采样的方式同样可以取得变压器的放电时间 t_{dis} ，如图 3 所示，次级端输出二极管上

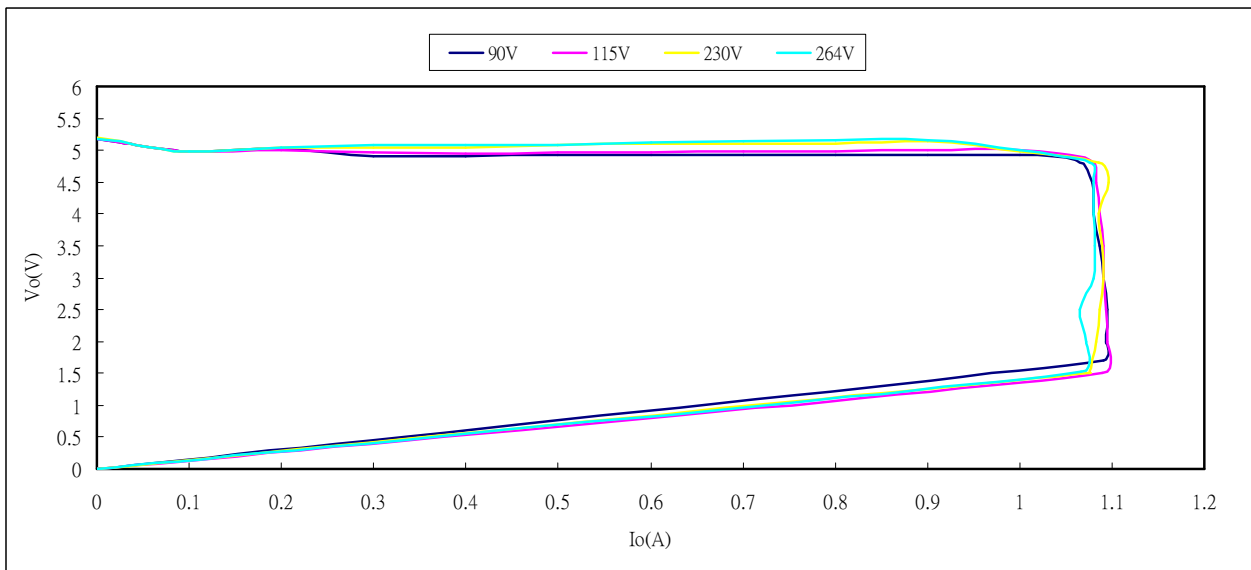
的电流平均值会等于输出电流 I_O ，因此输出电流 I_O 可以藉由 i_{pk} 与 t_{dis} 表示为式 (3)

$$I_O = \frac{1}{2t_s} \left(i_{pk} \times \frac{N_p}{N_s} \times t_{dis} \right) = \frac{1}{2t_s} \left[\frac{V_{CS}}{R_{SENSE}} \times \frac{N_p}{N_s} \times t_{dis} \right] \quad (3)$$

其中 t_s 为 PSR 控制器的开关周期； N_p/N_s 为初级端与次级端的圈数比； R_{SENSE} 为初级端电流取样电阻。

实际实现一个 5W 的充电器，输出规格的定义为 5V/1A。控制器采用 FSEZ1216，这个 PSR 控制器集成了 600V 的高压 MOSFET，因此可以减少驱动 MOSFET 的线路与 PCB 走线的干扰。而为了要降低待机损耗，PSR 控制器内部的省电模式将会在轻载时线性地降低 PWM 的频率，达到目前电源规范省电的需求；跳频机制提升 EMI 的效能，同时充电器的输出电压会因配备较长的输出缆线而导致输出电压降低，也可利用内部补偿机制提升输出电压的调节能力。

如图 4 至 7 为实验结果，从图 4 的输出电压电流曲线中，可以获得在通用交流电压的输入之下输出端的恒定电压调节率可以达到正负 2.88%；而当返回电压 (fold-back voltage) 为 1.5V 时，输出端的恒定电流调节率可以达到正负 1.75%，其中在恒电流的范围中的输出电压是藉由 5V~28V V_{DD} 的电压控制且在输出电压越来越低时仍然可以稳定恒定输出电流。如图 5 所示，平均效率可以达到 72.3%@115V 与 71.5%@230V，可以轻易符合“能源之星”2.0 等级五的能源规范 (规范为 68.17% 的平均效率)。由于 PWM 的切换频率加入了跳频机制，因此可以将单一频率的能量打散为多个微调频率的能量提升整体的 EMI 能力，如图 6 所示可以符合 EN55022 等级 B 的 EMI 规范。



图四、5W充电器采用PSR控制的输出电压/电流曲线

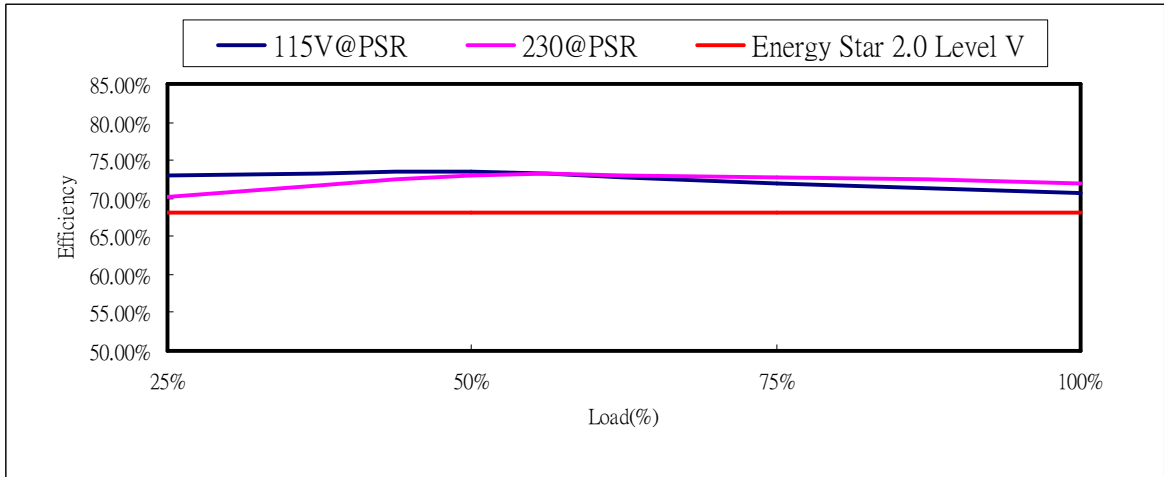


图5 5W 充电器采用 PSR 控制在不同输出负载时的效率

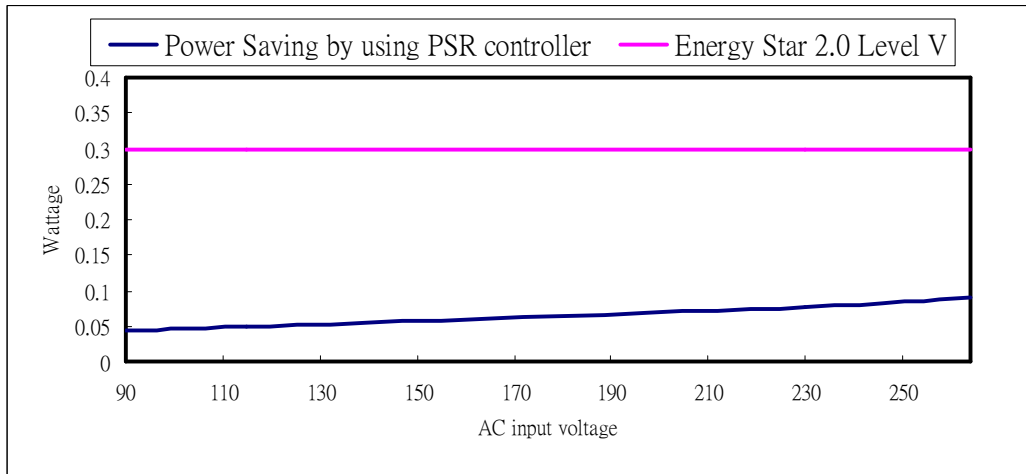


图6 5W 充电器采用 PSR 控制在不同输入电压时的待机损耗

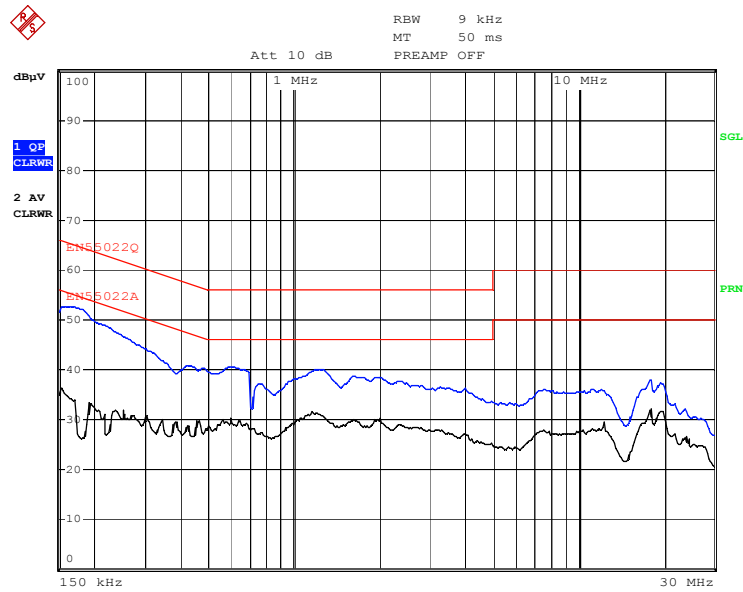


图7 5W 充电器采用 PSR 控制在 230V/50Hz 最大输出瓦数时的 EMI

总结

随着全球关注绿色能源的开发，电源的效率也逐渐获得重视，具有半导体控制的电源 IC 扮演一个提升效率的重要角色，藉由电源 IC 崭新的控制技术使电源能节省整体的成本、降低不必要的切换损失与提升 EMI 的能力，以达到『轻薄短小』的目标。本篇文章叙述一个具有崭新初级端调节控制技术的应用在电池充电器上所展现的优点，此技术利用采样变压器初级端的辅助绕组上的电压达到输出端的恒定电流与恒定电压的调节，这样的优点可以节省传统采用次级端反馈线路、光耦合器与次级端侦测电流电阻等组件，因此采用初级端调节控制 IC 的充电器是可以提供高效率与低成本的电源一个最佳解决方案。