White Paper

简化高级电源系统设计

数字电源技术是目前电源领域最重要技术之一，主要应用于信息和通信设备，以及智能便携式消费电子产品中，其可以实现降低功耗，以及日益复杂的电源管理需求。数字电源可以管理和控制系统的实时信息，可以帮助系统开发人员简单的构建根据环境变化自动优化效率的电源系统。智能数字电源 IC 还可以自动补偿负载和系统温度的变化，并利用自适应死区时间控制、动态电压调节、降频、降相、切换到不连续模式等方式实现节能。

在全球对能耗敏感度不断提升的情况下，数字电源这些优化效率的管理方法就显得尤为重要。电源管理主要包括电压和电流监测、时序控制、电压跟踪、故障检测和故障管理等。热管理主要包括整个系统的温度监测，以及根据不同温度控制风扇转速或关闭部分系统。此外，电源管理和热管理与电源转换器的集成也是十分重要的，它可以减少对电源管理和热管理 IC 的需求。

市场

据市场分析机构 IMS Research 的调查 [1]，数字电源市场是目前电源管理行业发展速度最快的细分市场之一。随着数字电源在 IT 基础设施，以及照明和消费电子等市场中应用的增加，预计 2013 年到 2017 年，全球数字电源和数字电源 IC 市场将会大幅增长。特别是，服务器将成为数字电源最大的市场，预计 2012 到 2017 年，数字电源市场年复合增长率将达到 44.8%。同时，在目前份额比较小的市场，如照明以及笔记本和平板电脑，预计将分别以 126%、92%、88%的速度增长。基于数字电源供应的潜力，数字电源 IC 预期可以获得快速增长，这还并不包括电路板级别设备的重要市场。分析师预测，2013 年到 2017 年，数字电源 IC 收入将增加五倍以上，达到 26 亿美元。

人们认为数字电源贵是其快速普及的一个障碍，不过，这种观点将会迅速消失。因为数字电源的效率和成本现在已与模拟电源转换解决方案相当，甚至优于后者。而电源转换只是整体解决方案的一部分。采用混合信号高度集成技术的数字控制器可以集成电源管理和电源转换功能。这种高度集成的数字控制器在性能、成本和空间方面都具有显著优势。数字电源解决方案与模拟电源解决方案最大的区别是，脉宽调制（PWM）、 环路控制等采用数字化方式。将模拟信号采用模–数转换器（ADC）转换为数字信号，然后用微控制器、数字信号处理器或计算状态机等方法处理数字信号，从而控制数字脉宽调制和反馈环路。

从总体情况看，最早采用数字电源的是 IT 基础设施领域，如服务器和电信或数据通信设备。目前模拟电源管理系统仍在这一市场占大份额。不过，由于数字电源的灵活性和可编程能力，可以提高整体系统的性能和可靠性，越来越多的设备制造商已开始采用数字电源技术。

数字电源的设计灵活性

在复杂性及可靠性需求日益提高的配电系统中需要采用大量电源总线，这些电源总线需要进行时序控制，跟踪，调节输出电压等功能，从而保证系统中微处理器、微控制器、ASIC、FPGA 及其他数字逻辑 IC 的正常工作。随着产品设计进入不同阶段，设计要求可能会发生变化，如增加电源总线，提高电源电

[1] *'The World Market for Digital Power', IMS Research (now part of IHS), 2013*

流，或提高瞬态响应的规格等。通常，这需要重新设计配电系统，而数字电源所具有的灵活性可以适应不断变化的要求。新电源总线采用工业标准系统管理总线（SMBus）可以轻松地添加到电源管理系统中。数字电源 IC 之间可通过 SMBus 接口，采用电源管理总线协议（PMBus）相互通信。采用 PMBus 的电源转换系统，具有传统模拟电源系统不具备的灵活性。有监控、时序控制、电压微调和故障检测等功能。数字电源 IC 含有自己的 SMBus 地址，可以添加到系统中，不必由于增加电总线而重新编程或增加额外的电源管理 IC。

此外，在系统监控方面，数字电源解决方案提供多种响应故障的方法。在产品整个生命周期内都可以配置和调整其过流和欠流、过压和欠压，以及过热故障和报警阈值等设置。数字电源解决方案还可以降低成本-减少元器件数量，提高可靠性，延长系统使用寿命。数字电源使设计人员能够利用相同的器件设计不同的电源总线，电源需求的变化时，也不必更换昂贵的硬件。在目前电路板密度不断提高，热量不断增加的情况下，散热也越来越成为一个常见问题，数字电源解决方案也可以更加有效地解决不断提高的散热需求。

数字电源发展历史

数字电源的定义常根据芯片或电源转换器制造商的要求不同而异：有的供应商将带有数字接口，但环路控制是模拟方式的电源也视为数字电源，它只是通过 PMBus 增加了数字电源的功能；另外一些供应商可能仅将通过微控制器或数字信号处理器完成环路控制数字化的电源视为数字电源。后一种解决方案可能需要用户进行大量软件编码，此外，MCU 或 DSP 也不是一个以电源为中心的产品，不能实现管理电源电流和电压的功能。

2005 年，Zilker Labs 推出首款数字电源模块，该公司于 2009 年初被 Intersil 收购。ZL2005 是业内第一个带 PMBus 接口的全数字控制器。它将传统数字 PID（比例-积分-微分）控制回路以及紧凑高效的降压控制器、大电流自适应驱动器和完整的电源管理和散热管理功能全部集成在单一封装中。该器件具有时序控制、电压回读以及基本的控制功能。不过，PMBus 接口运行速度相当慢，由于时间延迟太大，无法真正实现精确的时序控制。2008 年推出的第二代数字控制器，其添加了 Zilker Labs 公司的 Digital-DC™（DDC）专利技术（单线接口）克服了上一代产品的缺陷。再后来，推出第三代数字控制器，其显著提高了数字控制能力，采用自动补偿技术，解决了电源系统设计中的最大挑战之一环路补偿问题。

在前三代产品演进过程中，公司针对客户的需求对每一代产品进行调整，现在已完全实现数字电源技术的潜在优势。最新 ZL8800 是 Intersil 第四代数字电源产品，其性能显著优于模拟控制器。传统的模拟电路的一个主要问题是，设计人员必须在频域设计合适的‘极点与零点’，以保证系统稳定。ZL8800 提供全数字无补偿控制回路的控制方案，即使当系统出现输出电容动态调整等异常情况时，模块仍然保持稳定，同时还可以实现比模拟控制环路更加快速的瞬态响应。结合一流的数字电源 IC 和直观易用的 GUI 软件，这种先进的补偿回路技术可为电源系统架构师和设计师提供完美的系统。

ZL8800 – 架构和电源管理概述

ZL8800 是一款创新的混合信号电源转换和电源管理 IC。ZL8800 是基于 Intersil Zilker Labs DDC 技术，的双通道、双相控制器，可用于各种高性能降压电源转换器。它可为数字负载点（POL）转换器提供同类最佳瞬态响应，同时节省输出电容和电路板空间。这款器件主要用于最新一代基站、路由器及其他数据通信基础设施设计中，设计人员可通过 PMBus 接口全面监控每个电源总线，并采用监视器和时序控制器提供关于 POL 转换器的各种参数。采用 Intersil 专利技术，DDC （数字-DC）串行总线，ZL8800 还可以与其他 Zilker Labs IC 之间进行通信。采用 DDC 技术，ZL8800 支持各种复杂的功能，如 IC 间相间均流、时序控制和故障告警，节省了一般电源管理器所需的大量外置分立器件。

ZL8800 的架构可实现快速瞬态响应，且无需回路补偿。自适应算法可自动改变电源转换器工作状态，提高效率和整体性能，不需要用户介入。该器件的全数字控制回路可精确控制整个电源转换过程而无需软件编程，是一种使用非常灵活的器件。该芯片独特的电荷模式（ChargeMode）控制算法可在一个 PWM 开关周期内对输出电流变化做出响应，同样的动态电压要求，其需要输出电容数量可少于传统 PWM 控制器。

集成了丰富的电源管理功能，并且其可以利用简单的引脚连接来配置。用户配置可以保存在内部的非易失性闪存中。此外，所有功能可通过 SMBus 硬件接口，采用标准 PMBus 命令极为灵活地配置和监控。启动后，ZL8800 即可调节电源，执行电源管理任务，不需要编程。必要时，可通过 PMBus 命令实时更改高级配置选项，持续监控多种工作参数，仅需极少的主机操作。内部集成 LDO，在 4.5V 至 14V 输入电压范围内进行单电源供电即可，不需要偏置电源。

ZL8800 输出支持 0.54V 至 5.5V 输出电压，可以双路输出，也可以在双相一起输出大电流。集成的低压差（LDO）稳压器使 ZL8800 可在单输入电源下工作，不需要额外的线性稳压器。LDO 输出可给外部驱动器或 DrMOS（驱动器加 MOSFET）供电。此外，ZL8800 包括电路保护功能，避免器件和负载在系统意外故障的情况下损坏。ZL8800 可连续监控输入电压和电流、输出电压和电流，包括逐周期输出过流保护，内部温度以及两个外部热敏二极管的温度。器件还包括支持外部处理器上电复位功能的电源正常（PG）信号。所有电源管理功能可采用引脚配置技术，或通过 SMBus 接口采用 PMBus 命令来配置。保护参数还可以预配置，在特定条件下提供报警。

ZL8800 – 电荷模式控制技术

ZL8800 的一个重要特点是集成了公司独创的数字调制技术，称为电荷模式控制（ChargeMode）。目前，用于信息和通信技术电源的先进数字控制器需要满足三个要求：有效支持高带宽；最好不需要补偿，或者至少，用户基本上不需要花费时间在补偿控制回路上面；以及支持固定开关频率。ZL8800 采用独特的数字调制器和补偿技术满足上述所有要求。

ZL8800 采用数字调制技术，可在单个 PWM 开关周期内对电压偏差做出响应。电荷模式控制是一种可采用单周期响应技术实现高带宽控制的数字电压模式控制。传统上，电压或电流式迟滞控制器具有最佳回路响应，但这些控制器都有可变开关频率的缺点。使用数字电源控制器的现代电信设备需要在固定频率下工作，以便严格控制最终用户应用的噪声频谱。

ZL8800 电荷模式控制技术的核心是其 PWM 调制器。ZL8800 利用调制器灵活的数字控制，在单周期中修正电压偏差（在电感斜率可以进行这种修正的情况下）。一个开关周期是 PWM 的最小控制量，代表瞬态响应速度的上限。

传统 PWM 控制器均匀采样，控制器每个开关周期进行一次误差采样并计算调制信号。均匀采样控制器的缺点是有延迟或群延，大大延长了开关周期反应时间。群延造成相位滞后，这种滞后随频率增加而增加，并限制最大环路带宽。而 ZL8800 采用均匀和多频混合采样技术，开关周期中进行多次误差采样和调制信号计算。这种技术显著降低了群延，因此支持更高工作带宽。由于降低了群延，因此大大减小了相位滞后。ZL8800 还采用双沿调制器，在总群延方面优于与其竞争的‘前沿’调制器。

图 1 显示 ZL8800 采样技术。总延迟（tdelay）等于 ADC 转换延迟和计算延迟之和 （包括通道道/滤波延迟）。图 1 还显示，ZL8800 的 tdelay 明显低于均匀采样的 PWM 调制器。

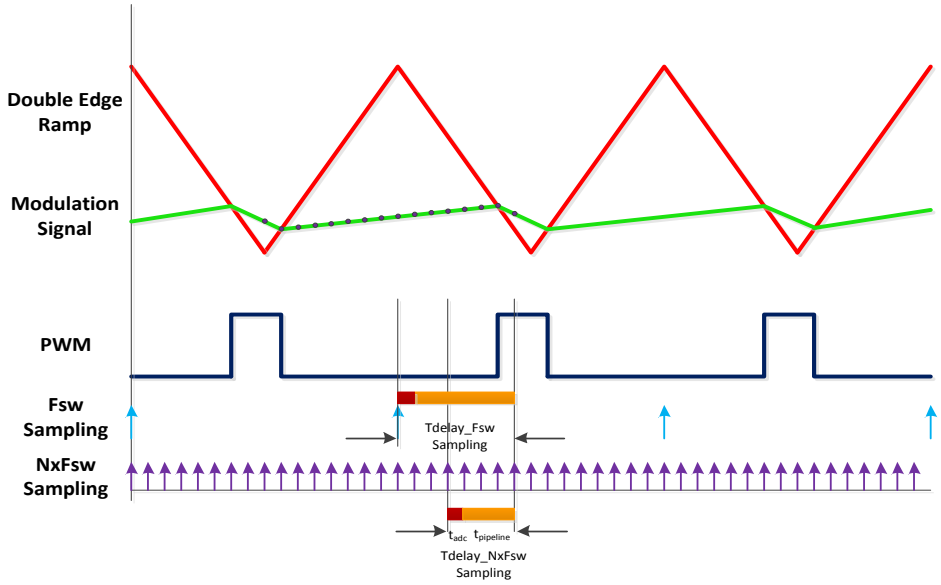

图 1 – ZL8800 数字 PWM 调制

ZL8800 – ASCR（单周期响应）数字补偿器

ZL8800 数字补偿器处理量化误差信号，并通过计算产生占空比。从而实现控制回路的单周期响应。这可以通过与误差电压偏差呈线性关系的比例增益来实现。仅用比例增益可以实现采用固定开关频率的单周期响应，但不能保证稳定性。控制器知道一个周期中占空比需要的变化，并尽力将其在一个或几个周期内实现。如果占空比的变化延时到下几个周期，系统就可能会产生不稳定。ZL8800 对一个开关周期中电压偏差的占空比修正不会影响到下一个或几个开关周期中，因此叫 ASCR（单周期响应）。

补偿器框图如图 2 所示，其结构在许多方面类似传统数字 PID（比例-积分-微分）控制器，但具有明显差别。图中显示补偿器如何集成多频采样技术。补偿器有两个并行通道，用来处理量化的误差电压。其中一个称为‘快速通道’，以高于‘慢速通道’的频率采样误差电压。采用这种独特的补偿器结构，可以快速反馈占空比指令，确定快速通道的影响，并在后面的周期中消除快速通道的影响。

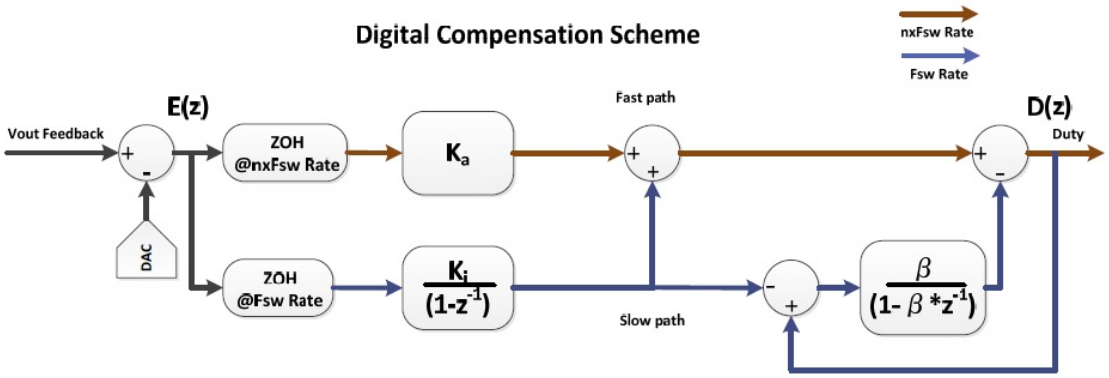

图 2 – ASCR 数字补偿器

快速通道含有比例增益（ASCR 增益）Ka，以 NxFsw（N 乘以开关频率速率）的频率对误差进行采样并计算占空比。慢速通道以 Fsw 速率采样误差，每个开关周期仅计算一次占空比。快速通道按误差电压比例对电压偏差做出响应。慢速通道以 Ki 作为积分函数的增益用于相应低频增益，及以 β 作为占空比复位函数的增益。占空比复位函数可以消除快速通道（由于瞬态负载引起占空比变化）和积分函数（引起稳态占空比变化）对占空比的影响。Z 域或频域传递函数如图 3 所示。补偿器简化为双极点、双零点滤波器构成稳定的闭环系统。

$$D(z) := E(z)\cdot Ka + \frac{E(z)\cdot Ki}{1 - z^{-1}} - \left(D(z) - E(z)\cdot\frac{Ki}{1 - z^{-1}}\right)\cdot\frac{\beta}{1 - \beta\cdot z^{-1}}$$

图 3 – D 数字补偿器 z 域

ZL8800 补偿器结构减小了即时误差采样与占空比变化之间的延迟。这样可以提升高频段相位，从而保证稳定性并支持高带宽设计（参见图 4）。

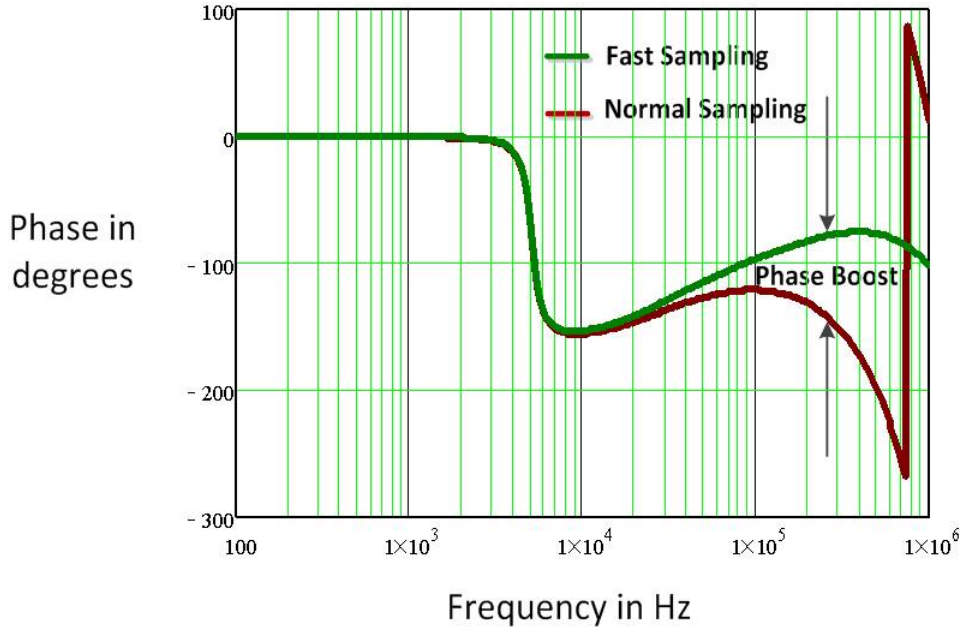

图 4 – 高频段相位提升

因此，ASCR 补偿器可以实现稳定的控制回路，只需根据带宽规格进行调整。在各种输出滤波器配置中，只需调整 ASCR 增益即可达到所需的闭环工作带宽。ASCR 模块实际上有两个输入：增益设置和余量微调。增益确立整个瞬态响应速度，而余量是一个衰减系数，主要用于设置回路响应速度，这对于实现最佳性能来说是十分重要的。不过，ZL8800 默认的余量值是可以适用于大部分系统的。

多频采样技术的主要缺点是反馈回路中会因误差过采样产生开关频率谐波。ZL8800 在快速通道中采用低延迟纹波滤波器，可以滤除所有重复的纹波分量。剩下的全部为波形中非周期性分量，包括延时很短或无延时的瞬态阶跃，纹波降低 20db 以上，没有明显延时，有助于提高增益和带宽。

PowerNavigator™软件和评估板

将 Intersil 方案组合在一起的另一个组件是公司的 PowerNavigator™软件。尽管某些高级电源系统可能需要用户具备丰富的编程和编码经验，以设置利用数字电源设备功能的指令和功能，但 PowerNavigator 可以通过 USB 接口利用 PC 或 Mac，简化 Intersil 多种数字电源设备的配置和监控。这个工具利用简单的图形用户界面就可以改变数字电源设计的各种特性和功能。通过简单的拖放界面，用户可以轻松建立完整的电源管理环境，不必编写一行代码。此外，为帮助用户熟悉 ZL8800，公司还推出两种评估套件，ZL8800-2CH-DEMO1Z 双路输出评估板和 ZL8800-2PH-DEMO1Z 60A 双相单路输出演示板。

数字电源领导地位

在 Zilker Labs 基础上，Intersil 进一步发展了电源转换、电源管理和先进的自动补偿专利技术，结合世界一流的混合信号芯片集成设计能力，推出达到尖端水平的第四代 ZL8800 DC/DC 控制器。这一产品扩充了公司的数字电源平台，也进一步巩固了公司在这一领域中的技术领先优势。ZL8800 可以大大节省电源系统设计人员的时间，降低了先进电源控制和管理解决方案的风险、成本和尺寸。总之，ZL8800 让数字电源的设计变的非常简单。

参考信息

- ZL8800 双通道/双相控制器
- ZL8800 数据表
- PowerNavigator 软件
- 详细了解 Renesas 的数字电源解决方案

# # #

关于 Renesas

Renesas Electronics Corporation delivers trusted embedded design innovation with complete semiconductor solutions that enable billions of connected, intelligent devices to enhance the way people work and live—securely and safely. A global leader in microcontrollers, analog, power, and SoC products, Renesas provides the expertise, quality, and comprehensive solutions for a broad range of Automotive, Industrial, Home Electronics, Office Automation and Information Communication Technology applications to help shape a limitless future. Learn more at renesas.com

+1 408-432-8888 | © Renesas Electronics America. All rights reserved. Renesas (and design) are trademarks owned by Renesas Electronics Corporation or one of its subsidiaries. All other trademarks mentioned are the property of their respective owners.