

# Integrated Devices for Fast-charging Power Supply Adapters

Tianyang Chen Zhongsheng Zhou Liwu Ding Rongxing Lv

Shenzhen Ruijada Electronics Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

## Abstract

With the wide application of mobile devices, people's requirements for mobile phone charging are also increasing. This paper focuses on integrated devices for fast charging power adapters to improve charging efficiency and reduce volume. This paper analyzes the role of integrated devices in the charging system, including power management, power conversion, control and protection, introduces the current mainstream integrated device technology, puts forward the corresponding optimization design for different application scenarios, and verifies the effectiveness of the proposed scheme through experiments.

## Keywords

fast charging; power adapter; integrated devices; electric energy conversion; power management

# 用于快速充电电源适配器的集成式器件

陈天阳 周忠盛 丁利物 吕荣兴

深圳市瑞嘉达电子有限公司, 中国·广东深圳 518000

## 摘要

随着移动设备的广泛应用, 人们对手机充电的要求也在不断提高。论文主要研究用于快速充电电源适配器的集成式器件, 以提高充电效率并减小体积。论文对集成式器件在充电系统中的作用进行了分析, 包括电源管理、电能转换、控制与保护等方面, 介绍了目前主流的集成式器件技术, 针对不同应用场景提出了相应的优化设计, 并通过实验验证了所提方案的有效性。

## 关键词

快速充电; 电源适配器; 集成式器件; 电能转换; 电源管理

## 1 引言

随着移动设备, 如智能手机、平板电脑和电动汽车等的普及, 用户对充电速度和便捷性的要求不断提高, 快速充电技术应运而生。快速充电技术能够在较短的时间内为设备提供足够的电量, 大大提高了用户的使用体验。然而, 传统的充电电源适配器体积较大、效率较低, 限制了快速充电技术的进一步发展。因此, 研究用于快速充电电源适配器的集成式器件具有重要的实际意义和理论价值。

集成式器件通过将多个功能集成到单个封装中, 具有体积小、效率高、可靠性好等优点。在快速充电领域, 集成式器件主要应用于电源管理、电能转换、控制与保护等方面。例如, 高压 GaN 器件具有低导通损耗、高频率特性等优势, 可实现高效的电能转换; 高效率的同步式整流元件, 可以减少输出电流损失, 提高带电效率; 数字控制技术可以实现对充电过程的精确控制与保护。通过对这些集成式器件的研究与应用, 可以设计出更高效、更紧凑的快速充电电源适配器,

满足不同应用场景的需求。

论文结合深圳市瑞嘉达电子有限公司在消费类充电产品领域研发经验, 详细分析集成式器件在快速充电系统中的作用, 介绍目前主流的集成式器件技术, 并针对不同应用场景提出相应的优化设计。

## 2 集成式器件在快速充电系统中的作用

### 2.1 电源管理

电源管理是快速充电系统的核心部分, 负责调节输入电压、输出电流以满足设备的充电需求。集成式器件在电源管理中的应用, 有助于提高系统的稳定性和可靠性。例如, 集成电压调节器 (IVR) 可以实现输入电压的稳定输出, 避免电压波动对设备造成损害; 电流控制器可以精确地控制输出电流, 以满足设备在不同充电阶段的需求。这些集成式器件使得电源管理系统更为紧凑、高效, 降低了系统复杂度<sup>[1]</sup>。

### 2.2 电能转换

电能转换是快速充电过程中的关键环节, 其效率直接影响到充电速度。集成式器件在电能转换中的应用, 可以显著提高系统的转换效率。如高压 GaN 器件, 由于其较低的导通损耗、高频率特性以及快速的开关速度, 能够实现高效

**【作者简介】**陈天阳 (1985-), 男, 中国广东深圳人, 本科, 研发经理, 从事高端电源充电器的设计开发研究。

的电转换。另外，使用高效率的同步式整流件，可以有效地减少了输出电流的损失，从而提升了充电的效率。这些集成式器件的广泛应用有助于降低充电系统的热损耗，延长设备使用寿命。

### 2.3 控制与保护

集成式器件在快速充电系统的控制与保护中也发挥着重要作用。数字控制技术可以实现对充电过程的精确控制与保护，包括恒压、恒流、温度保护等功能。例如，数字充电控制器可以监控设备的充电状态，实时调整充电参数，确保充电过程安全可靠。同时，集成式保护器件可以在系统出现异常情况时，如过压、过流、过温等，及时采取措施防止设备损坏。这些集成式器件的应用不仅提高了充电系统的安全性，还降低了系统成本和复杂度。

## 3 主流集成式器件技术分析

快速充电技术的快速发展，推动了集成式器件技术的不断创新。本章将重点分析当前主流的集成式器件技术，包括高压 GaN 器件、硅碳化物 (SiC) 器件、集成电源管理系统 (PMS) 和数字控制技术。

### 3.1 高压 GaN 器件

氮化镓 (GaN) 是一种具有高电子迁移率、高耐压强度、高热导率等优点的宽禁带半导体材料<sup>[2]</sup>。在高电压、高频、高功率等方面，GaN 基器件表现出明显的优越性。高电压氮化镓 GaN 器件在功率变换器、同步整流器等快充领域得到了广泛的应用。

高电压氮化镓装置有如下优点：①高效率：GaN 器件晶体管因其开启损失小，切换速度快，可提供高效能的能量转换。②高频率：GaN 器件的高速开关特性，使其可以在高频下工作，减少了磁性部件的尺寸，减少了系统的体积。③高功率密度：GaN 器件热导率高，可在高功率密度下稳定工作，适合于高功率、高速度的充电应用。④高可靠性：氮化镓晶体管的高耐压场强，保证了其在高电压下的可靠度。

### 3.2 硅碳化物 (SiC) 器件

硅碳化物 (SiC) 是一类宽禁带半导体，具有耐压高、热导率高、化学稳定性好等优点<sup>[3]</sup>。因而，SiC 器件在高温、高压和严苛的工作条件下表现出明显的优越性。碳化硅在高速充电领域得到了广泛的应用，如功率变换器、同步整流器等。

碳化硅装置有如下优点：①高效率：SiC 器件因其开启损失小，切换速度快，可达到高效率的能量转换。②高频：SiC 器件的高速开关，可使系统工作于高频，因此可减少磁性元件的尺寸，减少系统的大小、重量。③高功率密度：SiC 器件的高热导率使其可以在高功率密度下稳定工作，适合高功率、高速度的充电应用。④高可靠性：SiC 器件的高耐压场强，保证了其在高电压下的稳定可靠度。⑤耐高温性

能：SiC 器件具备极佳的耐热性能，可在较高温度下稳定工作，适合于较苛刻的工作条件。

### 3.3 集成电源管理系统 (PMS)

集成电源管理系统 (PMS) 是将电源管理功能模块集成到单一芯片中的技术。这些功能模块包括输入电源检测、输出电压调节、电流监测、保护电路、通信接口等<sup>[4]</sup>。集成电源管理系统在快速充电系统中起到了至关重要的作用，实现了对整个充电过程的精确控制和监控。

集成电源管理系统具有如下优点：①高集成度：将多个功能模块集成到单一芯片中，减少了元器件数量，降低了系统复杂度。②高性能：集成电源管理系统可以实现对充电过程的精确控制，优化充电策略，提高充电效率和速度。③高可靠性：通过集成保护电路和故障诊断功能，提高了系统的安全性和可靠性。④灵活性和可扩展性：集成电源管理系统可以根据不同应用需求进行功能模块的添加和删除，具有较高的灵活性和可扩展性。

### 3.4 数字控制技术

数字控制技术是利用数字信号处理器 (DSP) 或微控制器 (MCU) 实现对快速充电系统的精确控制和优化。通过数字控制技术，可以实现对输入电压、输出电压和电流等参数的实时监测，根据不同场景和需求调整充电策略<sup>[5]</sup>。

数字控制技术有如下优点：①精确控制：数字控制技术可以实现对快速充电过程中的各种参数的实时监测和精确控制，确保充电过程的安全性和效率。②自适应调整：通过实时监测充电系统的工作状态，数字控制技术可以根据不同场景和需求自动调整充电策略，实现最佳充电性能。③可编程性：数字控制技术具有较强的可编程性，可以通过软件升级和参数调整来满足不同用户和应用场景的需求。④故障诊断与保护：数字控制技术可以实现对充电系统故障的实时诊断和保护，提高系统的可靠性和安全性。⑤通信接口：数字控制技术可以方便地与外部设备进行通信，实现远程控制和监测，提高用户体验。

通过分析当前主流的集成式器件技术，如高压 GaN 器件、硅碳化物 (SiC) 器件、集成电源管理系统 (PMS) 和数字控制技术，我们可以看到这些技术在快速充电系统中发挥了重要作用，为提高充电性能、降低系统复杂度、提高可靠性和安全性、增强灵活性与可扩展性等方面作出了巨大贡献。

## 4 集成式器件的优化设计

### 4.1 针对不同应用场景的优化方案

不同的应用场景对快速充电系统的性能要求有所不同。例如，便携式电源适配器需要具有较小的体积和高的充电效率；而工业级应用则对系统的稳定性和可靠性有更高要求。因此，在设计集成式器件时，需要根据具体应用场景进行优化。以下是针对不同应用场景的一些优化方案：

①便携式电源适配器：为了实现较小的体积和高的充电效率，可以采用高压 GaN 器件和高效同步整流器件，同时优化磁性元件的设计，降低体积和热损耗<sup>[6]</sup>。②工业级应用：在工业级应用中，系统稳定性和可靠性至关重要。可以采用高性能的数字控制技术，实现对充电过程的精确控制与保护，同时选用高品质的电容器和电感器等无源元件，提高系统的稳定性和可靠性。③电动汽车充电：对于电动汽车充电应用，需要实现更高的功率密度和更快的充电速度。可以采用高压 GaN 器件和先进的拓扑结构，实现高效、高功率的电能转换；同时，采用数字控制技术优化充电策略，提高充电速度。

## 4.2 系统级集成的优势

系统级集成是将多个功能模块集成到一个封装或芯片中，具有以下优势：①降低系统复杂度：系统级集成可以简化电路设计，降低系统复杂度，有助于缩短产品研发周期和降低研发成本。②提高系统性能：系统级集成可以降低电路之间的寄生参数，减小信号传输损耗，从而提高系统性能。③减小体积：系统级集成有助于减小电路板的面积，降低元器件的数量，实现更小的体积和更轻的重量。④提高可靠性：系统级集成可以降低故障点的数量，减少接插件和焊接的使用，从而提高系统的可靠性和稳定性。⑤节省能源：系统级集成可以降低系统的功耗，实现更高的能源利用效率，有益于降低运行成本和减少环境负荷。⑥灵活性与可扩展性：系统级集成可以方便地进行功能模块的添加和删除，适应不同的应用需求。同时，采用数字控制技术可以方便地进行系统升级和参数调整。

综上所述，针对不同应用场景进行集成式器件的优化设计以及实现系统级集成，可以提高快速充电系统的性能，满足不同场景下的需求。同时，系统级集成具有降低系统复杂度、提高系统性能、减小体积、提高可靠性、节省能源以及灵活性与可扩展性等优势。因此，在未来的快速充电技术发展中，集成式器件和系统级集成将发挥越来越重要的作用。

## 5 实验验证与分析

为了验证所提及的集成式器件技术在快速充电系统中的实际性能，本节将通过实验对比分析不同集成式器件在充电效率、散热性能、充电速度等方面的表现。同时，本实验采用了一个典型的快速充电系统作为测试平台。

### 5.1 实验方法与设备

实验采用了以下设备和方法：①充电系统：本实验选用了一款典型的快速充电系统，包含输入滤波器、PFC 转换器、隔离型 DC-DC 转换器、同步整流器和输出滤波器等模块。②集成式器件：实验中分别使用了高压 GaN 器件、高效同步整流器件和数字控制技术作为待测器件。③测试设备：实

验采用了电源分析仪、示波器、热像仪等设备对充电系统进行测试。④测试条件：实验在不同的输入电压、输出电流以及环境温度下进行，以覆盖不同应用场景。

## 5.2 实验结果与分析

### 5.2.1 充电效率

实验结果显示，采用高压 GaN 器件和高效同步整流器件的充电系统在各种工作条件下的效率均较高，平均效率可达 94%。相比之下，采用传统硅基器件和肖特基整流器的充电系统效率较低，平均效率约为 90%。

### 5.2.2 热性能

通过热像仪对系统进行热分析，发现采用高压 GaN 器件和高效同步整流器件的充电系统在高功率输出时，热损耗较低，温升较小。这有利于提高系统的稳定性和可靠性，延长设备使用寿命。

### 5.2.3 充电速度

实验结果表明，采用数字控制技术的充电系统具有更快的充电速度，充电时间较传统模拟控制技术缩短约 20%。这得益于数字控制技术可以实现对充电过程的精确控制，提高充电速度。

综合实验结果，可得出以下结论：采用高压 GaN 器件、高效同步整流器件和数字控制技术的集成式器件在快速充电系统中表现优越，具有更高的充电效率、更好的散热性能以及更快的充电速度。这些实验结果验证了集成式器件在快速充电系统中的优势，为未来电源适配器和快速充电技术的发展提供了有力支持。

## 6 结语

综上所述，论文对快速充电电源适配器的集成式器件进行了深入探讨，分析了主流集成式器件技术在快速充电系统中的作用及其优势。随着电子产品对充电性能的要求不断提高，集成式器件技术将持续发展和创新，为实现更高效、更可靠、更便携的快速充电解决方案提供强有力的支持。

### 参考文献

- [1] 娄佳娜. 现代便携式设备中集成式电源管理的关键技术研究[D]. 杭州:浙江大学, 2011.
- [2] 邹扬, 赵隆冬, 朱晓辉, 等. 基于 GaN 器件的半砖 1kW 高压模块电源研制[J]. 电力电子技术, 2021, 55(11): 30-32+49.
- [3] 凌淳扬, 刘芳, 李昊, 等. SiC MOSFET 在双向无线充电应用中的开关性能及效率优化研究[J]. 电气传动, 2023, 53(1): 13-17+27.
- [4] 韩聃, 张世林, 毛陆虹, 等. 基于标准 CMOS 工艺太阳能电池的微电源管理系统[J]. 传感技术学报, 2013, 26(4): 590-594.
- [5] 王立松, 张晶. 大容量锂动力电池化成电源全数字控制技术[J]. 电源技术, 2005(2): 82-84.
- [6] 晋海钦. 一种支持快充的充电管理方案的研究与设计[D]. 西安: 长安大学, 2020.