

## USB 电池充电基础：应急指南

### 引言

USB 为便携设备供电与其串行通信功能一样，已经成为一种标准应用。如今，USB 供电已经扩展到电池充电、交流适配器及其它供电形式的应用。应用的普及带来的一个显著效果是便携设备的充电和供电可以互换插头和适配器。因此，相对于过去每种装置都采用专用适配器的架构相比，目前的解决方案允许采用多种电源进行充电。

毋庸置疑，USB 电源的最大用途是能够为便携产品的电池充电。但是，无论是 USB 电源还是其它电源，电池充电都不仅仅是从电源取电这么简单。对于 Li+ 电池尤其如此，充电不正确不仅会缩短电池寿命，而且存在安全隐患。设计合理的充电器可以优化安全性并增强用户体验，同时它还降低了退货、维修担保等风险，进而降低成本。

通过 USB 为电池充电需要权衡电池“维护和保养”，考虑 USB 功率限制以及便携式消费产品设计中存在的体积和成本问题。本文讨论了如何在这些因素中达到最佳平衡。

### 供电端口

USB 规范已经经历了几代电源管理技术。最初的 USB 1 和 USB 2.0 规范规定了两种类型的电源（分别是 5V 500mA 和 5V 100mA），为所连接的设备供电。这些规范并非针对电池充电，而是用于小型外设供电，例如麦克风和键盘。但这并不妨碍设计人员设计出自己的 USB 电池充电装置。然而，如果没有统一指导，不同装置和充电器之间的互操作性就得不到保证。这种限制促使近期开发了 USB 规范补充说明：电池充电规范，1.1 版，4/15/2009（BC1.1）1，补充了充电知识和电源说明，最大电源电流可达 1.5A。尽管标题为“电池充电规范”，但该文件几乎没有包括关于充电电池指标的任何信息，只是规定了应该从 USB 端口吸收多大功率充电。实际充电方法依然会留给设计人员。

在 BC1.1 之前，所有 USB 电源端口在有效工作（即 USB 术语中的“非挂起”模式）时，归为“低功率”（100mA）或“大功率”（500mA）。任何端口也可以“挂起”，意味着接近关闭，但仍可提供 2.5mA 电流。对于大多数设备，PC、笔记本电脑或供电集线器（供电集线器是一种 USB 中断盒，利用自身的墙上适配器电源提供总线供电）端口为“大功率”，除了上行 USB 主机提供的电源外，不接收其它电源的集线器端口被认为是“低功率”。插入装置后，最初允许吸收最大 100mA 的电流，同时进行枚举并与主机协商其电流预算。随后，可能允许吸收高达 500mA 的电流，或者是保持在 100mA。在 USB 串行总线规范 2.0 版的第 7.2.1.4 部分对此进行了详细规定。

BC1.1 的内容超出了 USB 2.0 规定的电源分配，它定义了更多用于充电的电源。主要有三种不同类型的电源：

1. 标准下行端口 (SDP) 这与 USB 2.0 规范定义的端口相同, 也是台式机和笔记本电脑常见的典型端口。挂起时, 最大负载电流为 2.5mA; 连接且非挂起状态下为 100mA, 可以配置电流为 500mA (最大)。设备可利用硬件识别 SDP, USB 数据线 D+和 D-分别通过 15k $\Omega$  接地, 但仍然需要枚举, 以符合 USB 规范。尽管现在许多硬件不经枚举即消耗功率, 但在 USB 2.0 规范中, 从严格意义上并不合法, 违反规范要求。

2. 充电下行端口 (CDP) BC1.1 为 PC、笔记本电脑及其它硬件规定了这种较大电流的新型 USB 口。现在, CDP 可提供高达 1.5A 电流, 由于可在枚举之前提供电流, 所以有别于 USB 2.0。插入 CDP 的装置可通过操纵和监测 D+、D-线, 从而利用硬件握手识别 CDP (参见 USB 电池充电规范第 3.2.3 部分)。在将数据线转为 USB 收发之前进行硬件测试, 这样就能够枚举之前检测到 CDP (以及开始充电)。

3. 专用充电端口 (DCP) BC1.1 规定了不进行枚举的电源, 例如墙上适配器电源和汽车适配器, 不需要数字通信即可启动充电。DCP 可提供高达 1.5A 电流, 通过短路 D+和 D-进行识别, 从而能够设计 DCP “墙上适配器电源”, 采用 USBmini 或微型插孔, 而非圆形插头或自制连接器的固定安装线。这样的适配器可采用任意 USB 电缆 (配备正确插头) 进行充电。

USB 电池充电规范, 1.1 版, 4/15/2009 中对这些接口类型进行了详细规定。

### 电源类型检测

对于连接到任意 USB 插孔并利用该电源工作或为电池充电的装置, 需要了解吸收多大的电流合适。如果从只能提供 500mA 的电源试图吸收 1A 电流, 这种措施并不妥当。USB 接口出现过载时很可能导致关断、烧毁保险丝或触发自恢复保险丝动作。即使具有自恢复保护, 也只能在拔出设备并重新连接后才能重新启动。在保护措施不严谨的接口设计中, 接口过载会造成整个系统复位。

便携设计可以选择适当方法管理接口检测, 可以兼容于 BC1.1、只兼容 USB 2.0 或根本不兼容。如果完全兼容于 BC1.1, 则必须能够检测所有类型的 USB 电源并限制其电流, 包括合法的 USB 1 和 2.0 接口。如果兼容 2.0, 将在枚举后从 SDP 充电, 但可能不能识别 CDP 和 DCP。若不能识别 CDP, 它仍然能够充电并保持兼容, 但只能在枚举后进行, 与 SDP 方式相同。其它部分兼容和不兼容标准的充电方法将在随后讨论。

器件可利用自身软件检测接口, 或采用独立于系统资源、通过 USB D+和 D-数据线之间的互动进行检测的接口 IC。这些功能设计的划分具体取决于系统架构。例如, 已经采用微控制器或专用 IC 管理电源的设备, 可能更倾向于使用 IC 进行端口检测和电流选择。由于这些设备能够通过 USB 连接主机并进行通信, 可根据枚举和配置结果选择充电。这些选择可以由应用处理器控制, 或者是由负责电源管理及其它系统功能的独立微控制器控制。系统检测端口类型、枚举, 并向充电器发送相应指令。充电器负责处理充电的硬件和安全事项, 具有内置门限, 使系统不会损害电池 (图 1)。

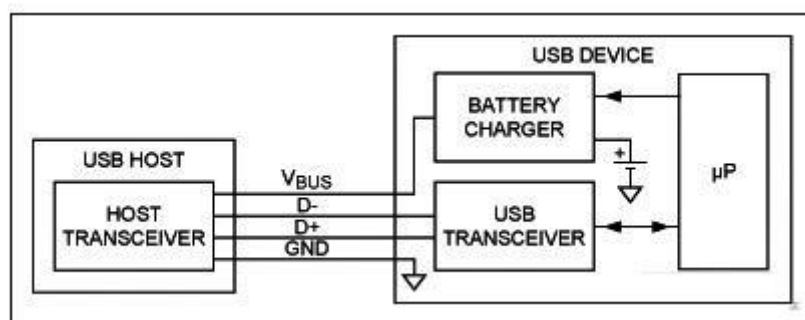


图 1. 无枚举充电器。USB 收发器和微处理器处理 USB 枚举，然后微控制器将电池充电器设置在正确的参数

不同的设备设计可能不通过 USB 通信,或不希望专用系统软件管理 USB 充电,而仅仅是采用 USB 端口供电。这种方式避免了设计复杂性,或者无需担心软件故障所造成的充电失效。由于系统不进行枚举,最好的充电选择是自枚举充电器 IC。充电器负责端口检测并选择合适的 USB 负载电流门限,无需系统介入(图 2)。

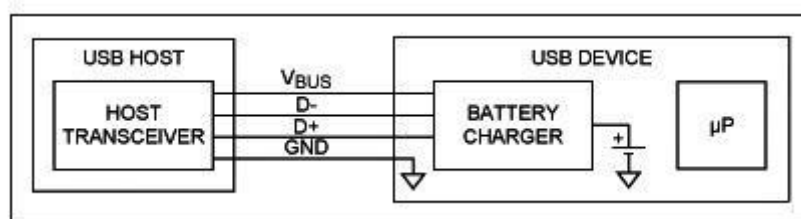


图 2. 自枚举充电器直接连接至 USB 数据线,使得简单系统能够完全利用 USB 充电,无需占用 USB 收发器或微处理器资源。

## USB 连接术语

这里,我们有必要介绍一下部分 USB 术语,包括“插入”、“连接”、“枚举”和“配置”。

**插入:** 插入 USB 电缆的物理过程。

**连接:** 设备将 1.5kΩ 上拉电阻连接至 D+或 D-数据线时(刚插入)。

**枚举:** 设备和主机之间交换初始数据,识别设备类型。

**配置:** 设置设备参数。

在 USB 2.0 中,设备进行枚举和配置期间需要了解 USB 端口可源出多大电流。枚举和配置需要设备与主机之间进行数字通信。BC1.1 扩展了 USB 规范,除 USB 2.0 选项外,BC1.1 还允许利用“哑”操作确定端口类型,所以,有些端口无需枚举即可充电。

## 端口检测和自枚举充电器

MAX8895 判断如何使用所提供的输入电源，与系统\*估电源无关。充电器自动确定适配器类型，能够区分以下类型：

1. DCP：500mA 至 1.5A
2. CDP（主机或集线器）：高速充电时达到 900mA（啁啾期间为 580mA）；低速和快速为 1.5A
3. 低功率 SDP（主机或集线器）：100mA
4. 大功率 SDP（主机或集线器）：500mA

所提供的电流支持电池充电或系统供电，或在它们之间进行分配。如果在长达 10ms 内未检测到总线流量，内置挂起定时器自动触发挂起。

除了自动优化来自 USB 及适配器电源的电流外，MAX8895 还巧妙处理适配器、USB 供电和电池供电之间的转换；允许系统在必要时利用所有能够利用的输入电源（图 3）。施加电源时，电池耗尽或没有电池同样可以保持工作。集成了所有功率控制 MOSFET，无需外部二极管。热调节环路在极限温度下自动降地充电电流，以降低管芯温度。

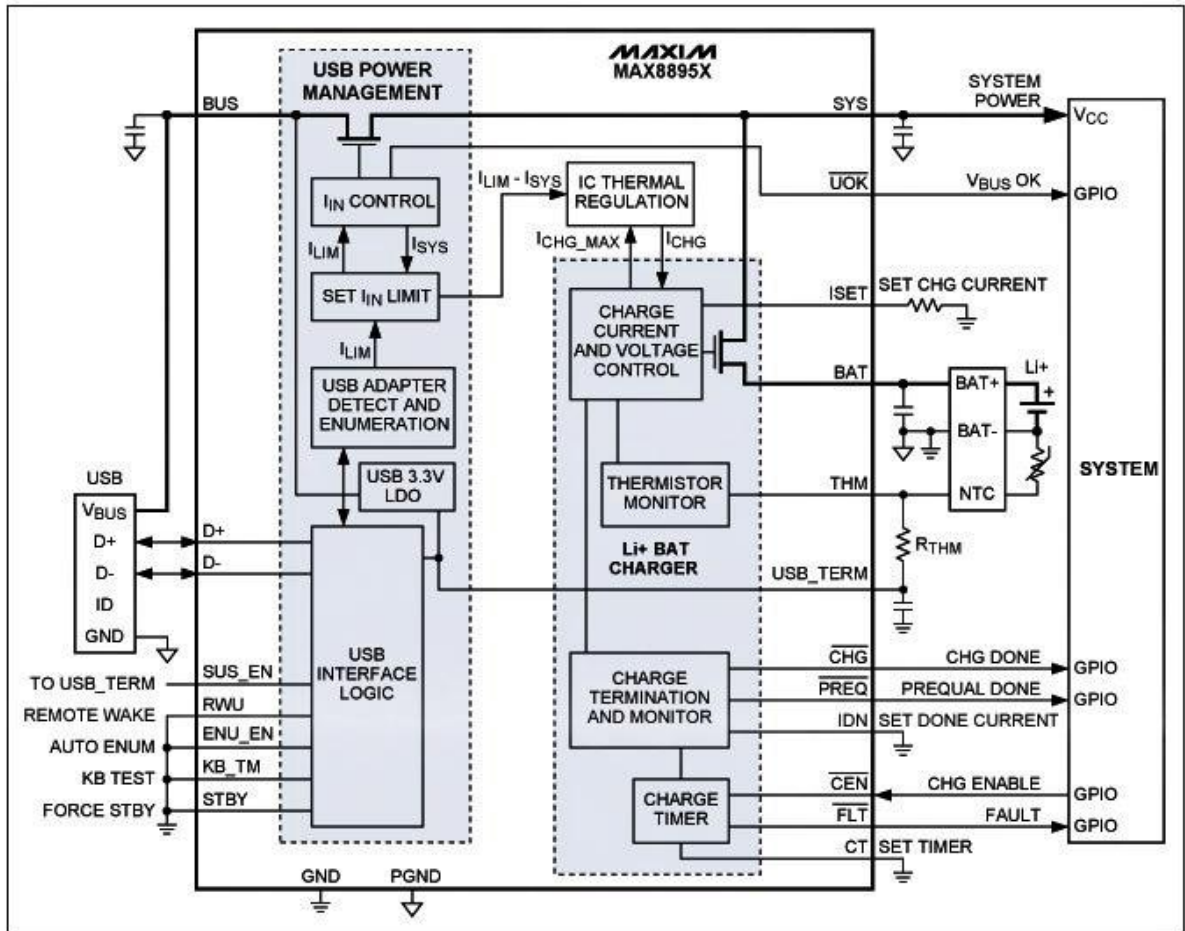


图 3. MAX8895 充电器自枚举，根据所连接电源的类型优化设置充电电流。即使是深度放电的电池，也能维持系统工作。

### 增加端口检测

BC1.1 规定了检测端口类型的硬件方法。预计采用集成电路实现这一功能，如图 2 中的 MAX8895，或在 USB 收发器中包括该电路。尽管如此，有些时候的首选方案依然是为现有充电器增加端口检测功能，至少包含其中部分功能。图 4 所示电路为一种基本的 USB 充电器检测方法，受系统微控制器控制工作。这种方法可检测 DCP，但是不能区分 SDP 和 CDP。它把两者均作为 SDP，这就意味着有些情况下会丧失从 CDP 吸收更大充电电流的机会。在预算较低的设计中，这一缺陷是可接受的。

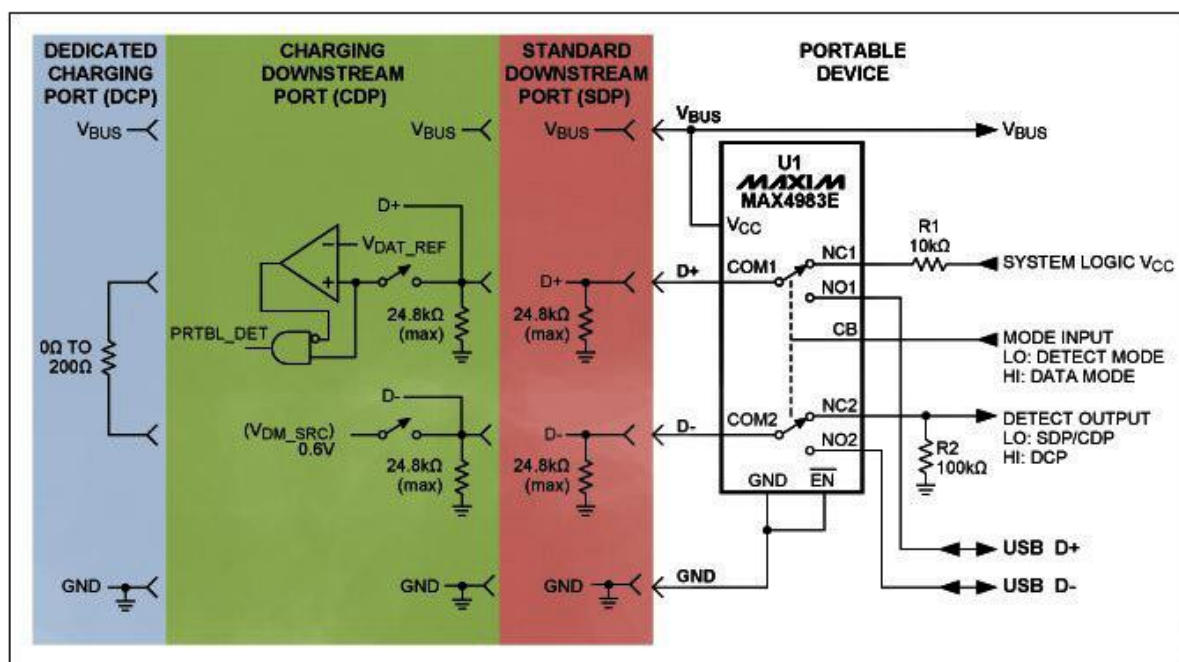


图 4. 高速 USB 开关实现有限的 USB 充电器检测形式

图 4 所示连接方法支持如下有限端口检测功能。当便携设备插入三种端口类型之一时，VBUS 为 U1 开关和设备的微控制器供电。U1 的 CB 输入的逻辑低电平将其置于检测模式，D+ 线通过  $10\text{k}\Omega$  上拉至系统逻辑电压，D- 通过  $100\text{k}\Omega$  拉至 GND。如果连接的是 DCP（D+ 与 D- 短路），D- 将变为高电平；如果连接的是 SDP 或 CDP，D- 及检测输出将为低电平。如果检测到 SDP 或 CDP，系统将驱动 CB 为低电平，将开关置于数据模式，该模式下将 D+ 和 D- 连接至数据通路，用于枚举及其它数据传输。以上方法有一个局限性：插入 CDP 时无法识别，从而不能立即充电，尽管在枚举后可从 CDP 充电。

图 5 所示为完整的端口检测。MAX14578 包括检测连接设备（USB 电缆、USB CDP 或专用充电器）所需的所有电路，并控制外部锂离子电池充电器。设备执行与 USB 电池充电规范 1.1 兼容的检测逻辑，包括数据触点检测、D+/D- 短路检测和 CDP 识别。另外，它有一个充电定时器和低电池电量监测器，用于支持 USB BC1.1 “无电电池” 充电机制。

MAX14578 具有一个数据开关，适用于 USB 高速和初始（全速和低速）信号。它具有低导通电阻（ $R_{ON}$ ）、低导通电阻平坦度以及非常小的电容。CDN 和 CDP 引脚还具有高达  $15\text{kV}$  的人体模式 ESD 保护。

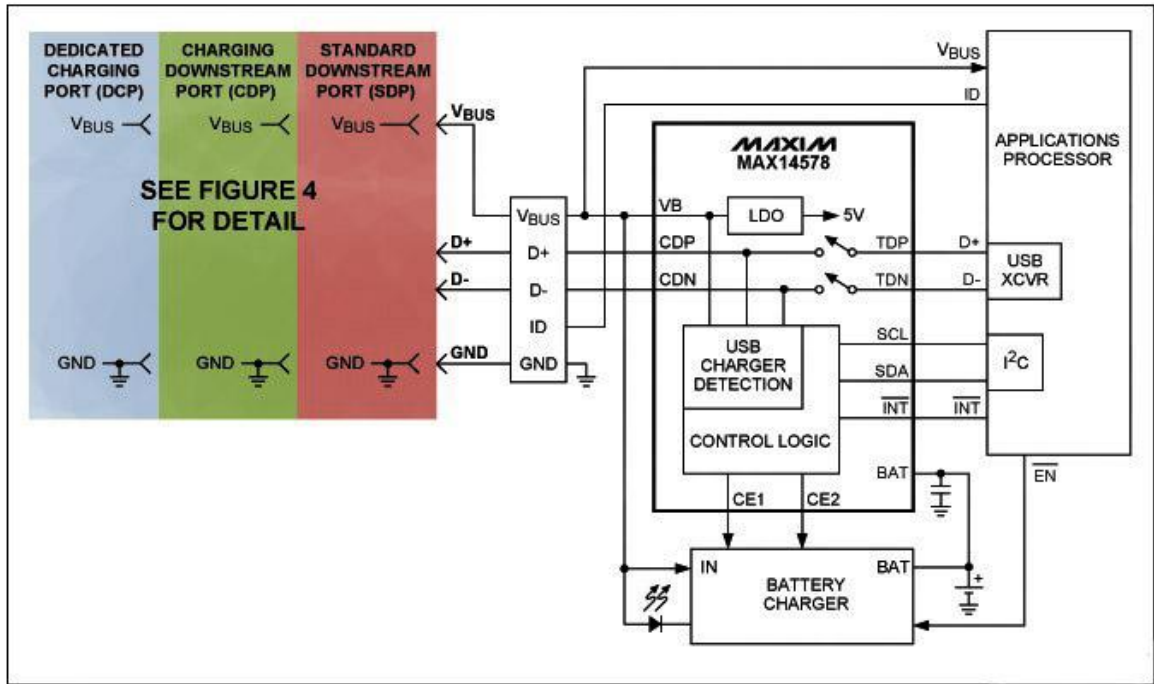


图 5. 利用 MAX14578 USB 充电端口检测器和数据开关 IC，可为充电器增加完全兼容于 USB BC1.1 的端口检测功能。

在图 6 中，为 USB 设备增加了简单的 Li+ 电池充电功能。MAX8814 可配置为通过 100mA 或 500mA USB 端口为电池充电。电路初始化为 100mA，然后微控制器枚举主机，以确定其电流驱动能力。如果 USB 端口允许，通过导通电流设置网络的 N1 和 R1，增大充电电流。大电流充电标称设定为 425mA，以避免超过考虑容限后的 SDP 500mA 限制。充电器还具有一个自动启动电路，当连接外部电源时，提供输出信号 (ABO) 通知系统。图 6 尽管兼容 USB，但并不符合 BC1.1 标准，所以需要枚举才能充电。

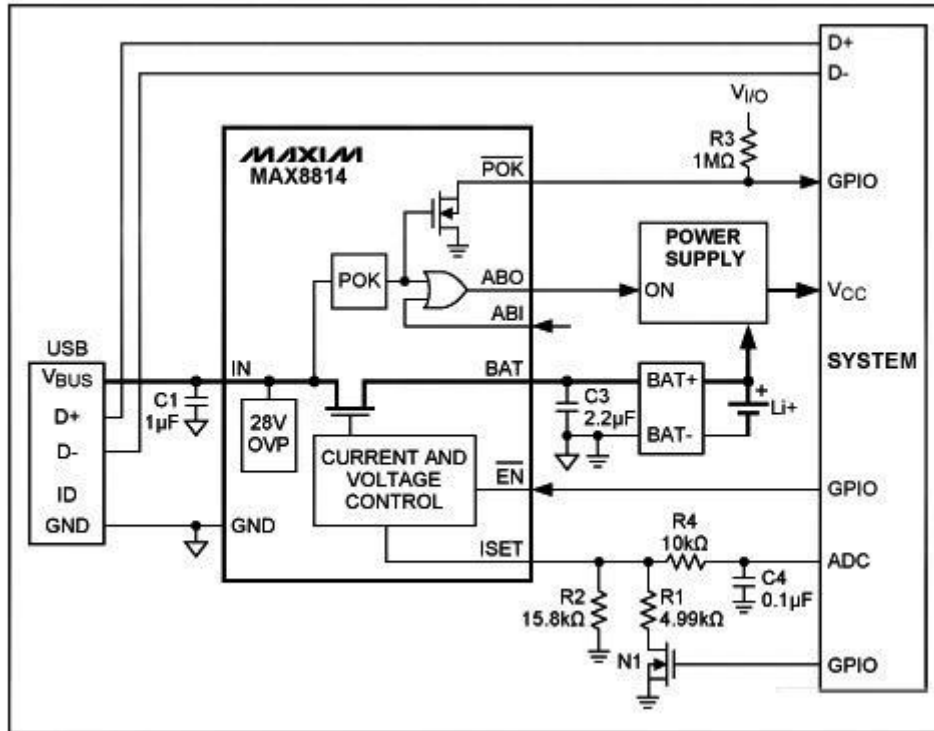


图 6

图 6. MAX8814 为 USB 设备增加充电功能提供了简单、引脚数少的解决方案。枚举受系统控制，利用 ISET 引脚监测和控制充电电流。这种设计兼容 USB，但并不符合 BC1.1 标准，所以需要枚举才能充电。

### 其它充电策略

USB 电池充电设计非常复杂。便携式 USB 连接设备并非遵循同一设计理念，存在各种限制约束—其中尺寸、成本、充电时间的影响最为明显。设计中须谨慎考虑这些因素及其它更细致的事项，有助于选择 USB 充电方案。更多的设计考虑事项包括：

- 设备在施加外部电源（USB 或适配器）后是否必须启动所有功能工作？
- 是否需要独立的输入，分别连接 USB 和适配器电源？
- 设备是否具有计算能力和固件与 USB 端口进行协商充电？
- 充电电流是否能够瞬间降低，以减小热耗，或者是否需要开关模式设计？
- 需要什么样的输入保护措施？



## 多输入充电

根据 BC1.1 规定，设备只能从 USB 定义的电源充电。这些设备的使用越来越普及，但您可能仍然希望选择常规的、可能不兼容 USB 的适配器进行充电。利用双输入充电器能够很好地解决这一问题，能够灵活替换外部电源。在此之前，通常采用“或”二极管或分立式 MOSFET 比较器进行电源切换，如果考虑潜在的“漏电”通路和切换时间时，设计会变得相对复杂。幸运的是，目前许多充电器 IC 具有电源关断控制（图 7）。集成这一功能不仅仅是简单地替代外部元件。由于集成充电器能够了解开关电路的操作，有助于改善电源变化时的切换。

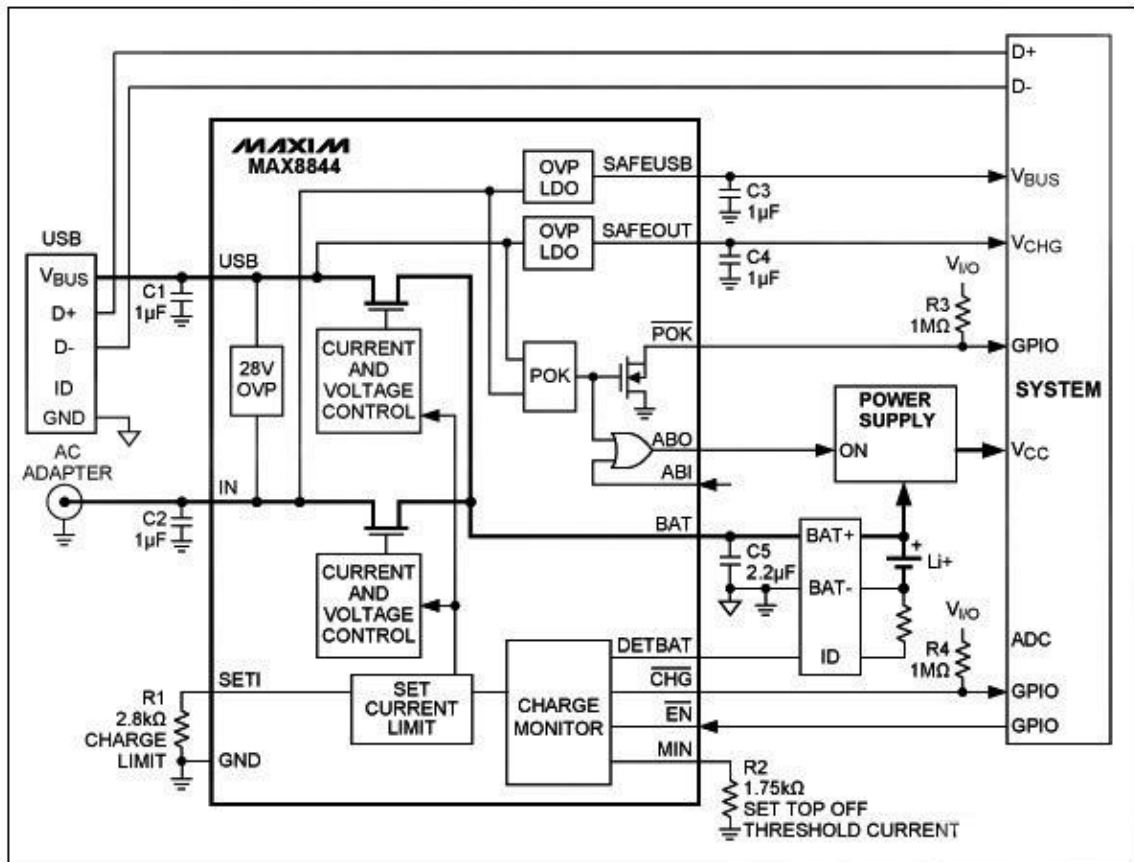


图 7. MAX8844 等双输入充电器处理利用 USB 和适配器供电的充电器，器件还具有高达 28V 的输入过压保护。

充电器常见的设计考虑是从多电源供电问题，特别是采用圆形连接器时，可能会连接到不正确的适配器。为避免这种事件的发生，MAX8844 禁止从高于 7.5V 的输入电源充电，能够承受并阻止高达 28V 的输入，可有效保护电池、充电器及下行电路，防止错误地连接到其它任何类型的适配器。此外，MAX8844 具有过压保护 LDO，从 USB 和适配器（IN）输入偏置，可向系统提供 30mA 电流。无论充电器是否使能，这些 LDO 输出（SAFEUSB 和 SAFEOUT）都保持有效。器件执行的其它充电功能包括：电池检测、热限制、在极端环境温度下减小充电电流（以维持较低的管芯温度）、自动启动逻辑输出、外部电源作用时通知系统。

## 电池负载切换（智能电源）与直接连接

在 USB 和适配器供电的充电应用中，一个关键设计因素是充电电路是否直接连接到电池和系统负载，或者在连接外部电源时是否需要额外的开关断开电池与系统的连接，这两种情况如图 8 所示。

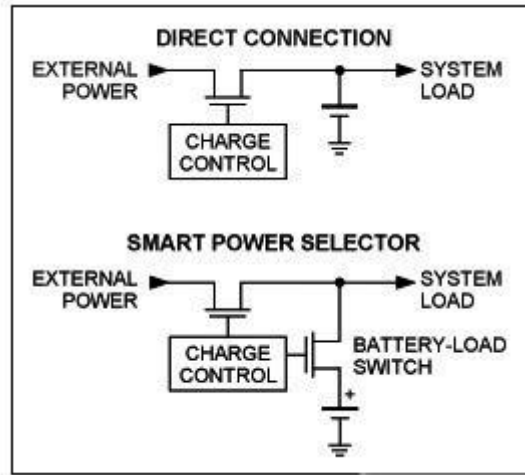


图 8. 直接连接充电器及 Maxim 的智能电源选择(Smart Power Selector?) 技术示意图

直接连接结构是最简单、最经济的实现方式。如果电池深度放电后施加外部电源，将会显露出它的主要缺陷。这种情况下，系统可能不能启动，直到电池达到可接受的水平。有些应用中，等待电池充电到一定程度，然后再恢复所有功能，用户也是可以接受的；然而，有些应用中，无论电池状态如何，“必须”要求连接外部电源时能够立即工作。后一种情况下，Maxim 的智能电源选择器允许系统在电池深度放电状态下使用外部电源供电，参见图 9。

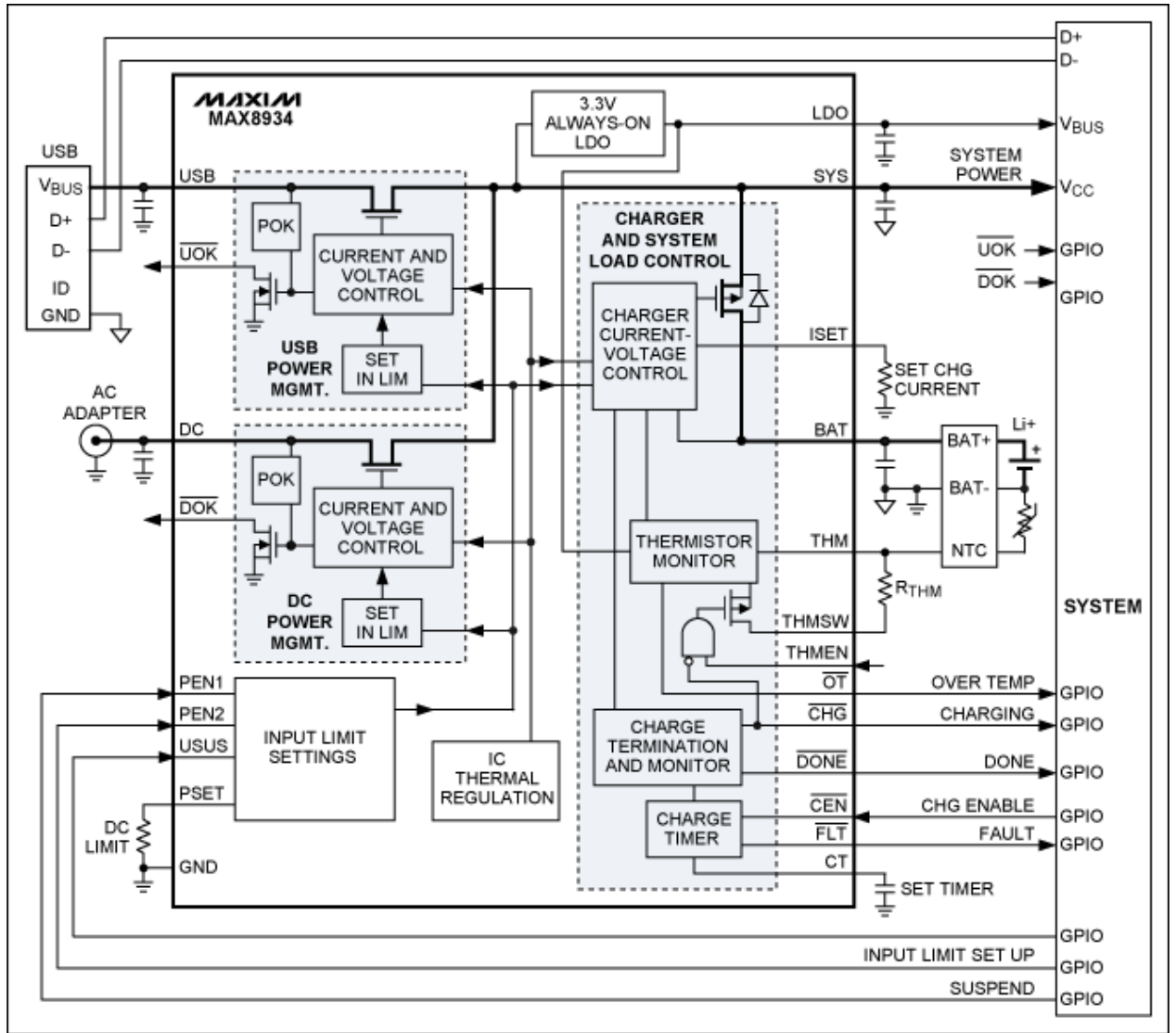


图 9. 具有智能电源选择器的双输入 USB/适配器 (例如 MAX8934), 在连接外部电源时能够立即为系统供电, 并同时为完全放电的电池充电。

图 9 中, 系统负载输出 (SYS) 和电池 (BAT) 之间的内置低阻 ( $40\text{m}\Omega$ ) MOSFET 在充电和放电工作期间负责多项功能。充电期间, 该智能电源选择器开关充分利用有限的 USB 或适配器电源, 在确保系统供电的前提下为电池充电。它还将电池作为一个缓冲储能装置, 在负载瞬时发生超过输入限流的峰值电流时保证系统供电。放电期间, 该开关提供一条从电池到系统的低损耗通路。

系统软件处理与 USB 主机的通信并向充电器发送命令。MAX8394 管理充电硬件, 并提供简单的通信, 设置 USB、适配器充电相关的参数。预设 USB 输入电流门限, 确保不超过规定的限制, 适配器使用用户设置的电流。充电器还向系统提供完整的状态和故障信号。

MAX8934 具有最新的充电安全特性, 包括日本电子信息技术产业协会 (JEITA) 规定的与温度相关的充电协议, 在温度升高时暂停或减缓充电。此外, 输入具有

高达 16V 的过压保护 (OVP)，并且器件在极端条件下通过减小充电电流限制温度的上升。

### 高达 2A 的开关模式快速充电器，发热最小

有些紧凑设备需要较大的充电电流（超过 1A），无法承受线性充电器在高充电速率下产生的过多热量。针对这种需求，MAX8903（图 10）提供了一个 4MHz DC-DC 转换器，在保持器件最小面积的同时，能够从适配器电源为电池提供高达 2A 的电流。与 MAX8934 一样，MAX8903 为双输入设计，通过独立的连接接受 USB 和适配器输入。与之前输入电源和电池电源关断操作一样，自动进行电源之间的切换。

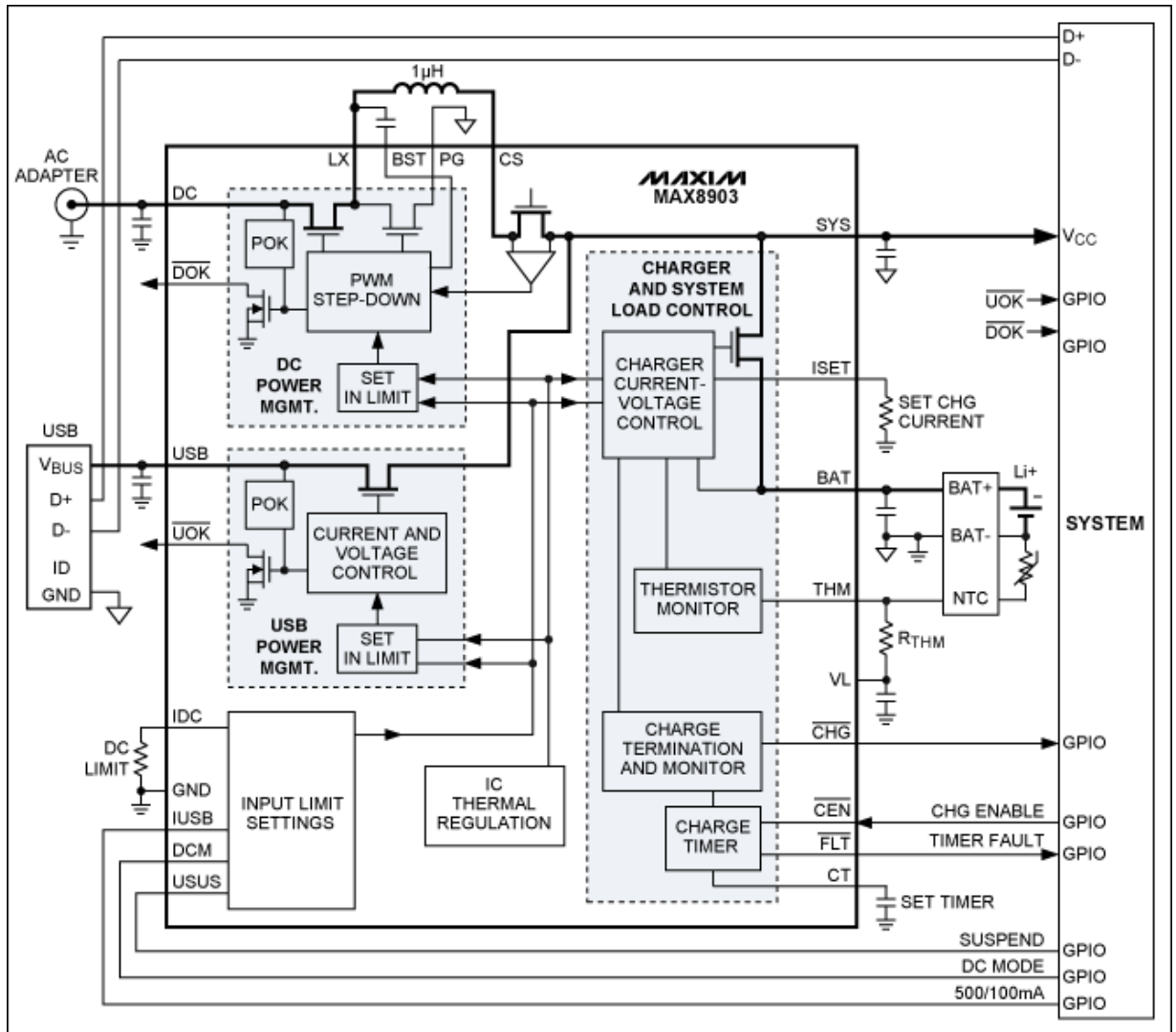


图 10. 具有智能电源选择器的 MAX8903 开关模式充电器，可从适配器输入提供高达 2A 电流，从 USB 源提供 500mA 电流。

MAX8903 的 4MHz 开关频率使开关转换器的有源元件保持在最小尺寸，在考虑了较低的功耗后，利用该器件构建的 2A 充电器会小于等效的线性充电器。实际上，考虑到热耗散，大多数便携设备在任何条件下都不能支持 2A 的线性充电架构。

### 内置过压和极性反接保护

尽管 USB 充电规范对电源适配器和充电器进行了一定程度的强制要求，但是针对便携设备的 USB 设计仍然比较混乱，尤其是那些选择使用普通圆形插头作为电源的应用（只使用适配器或者是双输入设备非常普遍）。用户极容易使用“随手找到”的、但输出电压甚至极性是错误的适配器。通过在充电器电源输入端集成正、负 22V 保护，MAX8900 能够减轻设计人员的负担：无需外部保护器件或 MOSFET 开关（图 11）。

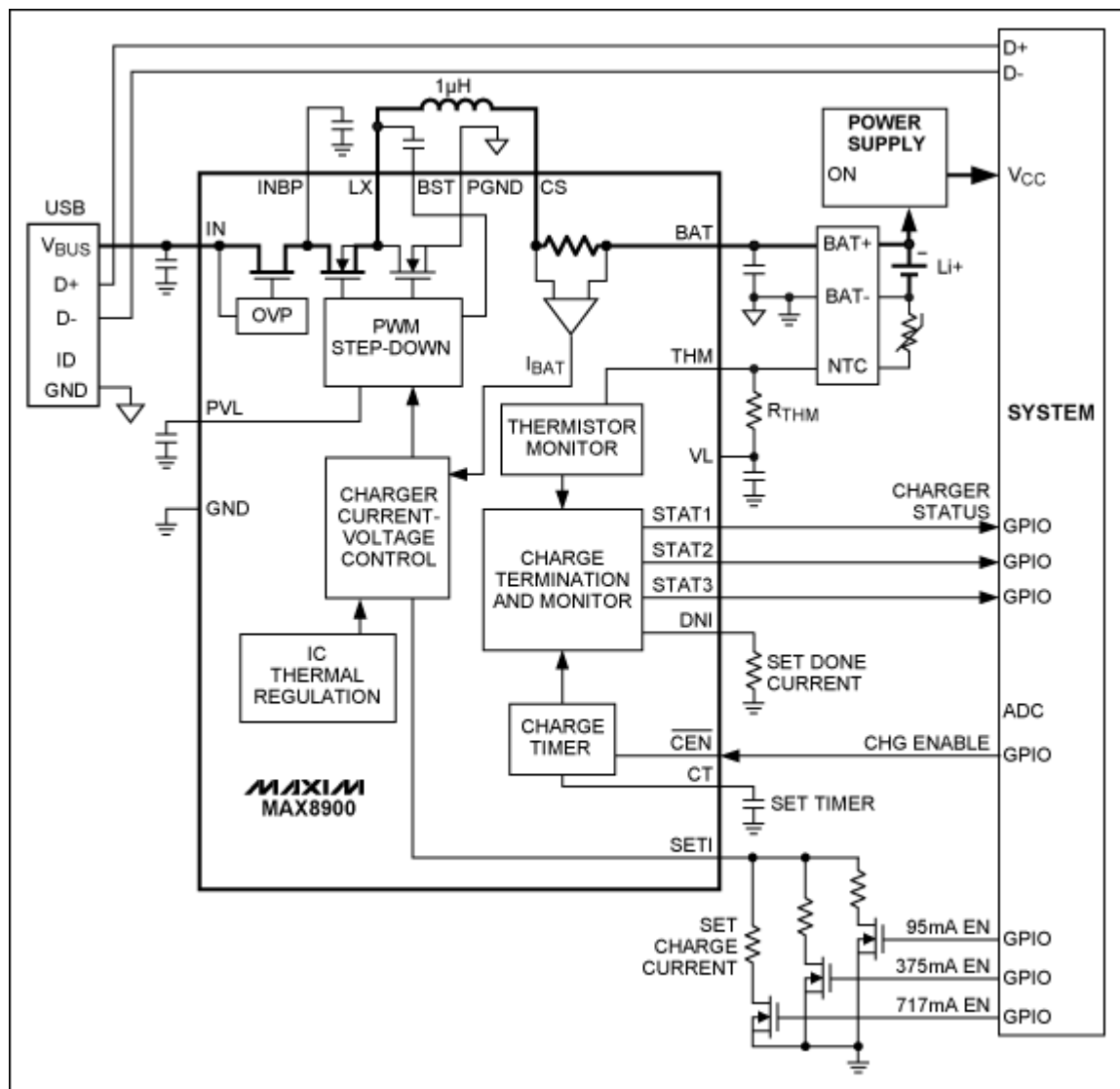


图 11. 具有±22V 过压和极性反接保护的直接连接开关模式充电器



---

该充电器另外一项特别有用的功能是：通过检测电池阻抗确定接入的是否为碱性电池或故障电池，检测到这种状况时将禁止充电。这就允许用户在紧急情况下插入碱性电池，无需担心意外充电。

### USB 3.0

USB 3.0 规范进一步提高了 USB 的数据速率。规范在电源方面与 USB 2.0 相似，只不过“单位负载”从 100mA 增大至 150mA，大功率端口不得不提供 6 个（而不是 5 个）单位负载。这就意味着低功率 USB 3.0 端口可提供 150mA 电流，大功率 USB 3.0 端口可提供 900mA 电流。

#### “假象”——非标准 USB 充电

与所有增加的不同于原始应用的标准一样，制造商有时为了提供至少受限的充电架构而忽略了 USB 2.0 规范的部分要求。通常这种非标准设备在任何条件下吸收的电流都不大于 100mA，所以，无论是大功率还是低功率集线器都不会过载。将电流限制在这一水平的缺点是电池充电时间较长，但如果设备在大部分时间都连接至 USB 端口，或许仍可接受。除了充电时间较长外，这种方式还有另外一个局限性：如果系统电池已完全放电，启动所有系统功能须延迟到电池达到足够电量的水平。

非标准充电的另一方面涉及到 USB 挂起的处理。USB 2.0 规定所有设备在一定周期内没有总线操作时必须挂起（吸收电流小于 2.5mA）。由于编制该规范时没有包括充电，所以没有考虑设备在关闭时继续保持电池充电的情况。然而，由于大多数 USB 主机实际并不关闭电源，这种违反规范的操作也很少妨碍充电。

非标准充电假设可以获得 500mA 电流，指示用户插入到能够提供 500mA 电流的电源端口和集线器。如上所述，由于大多数 USB 端口不关闭电源，这种方法在大多数情况下有效。当这样的设备插入到不支持 500mA 电流的端口时，端口将按规定关断。然而，USB 端口的过载状况并非任何情况下都给出了清晰的定义，会导致系统复位或损坏。幸运的是，电池充电已经是 USB 规范的一个有机组成部分，所以不再需要如此的冒险操作。

### 结论

USB 充电具有多种形式，取决于不同 USB 设备的独特要求。USB 电池充电规范 1.1 版最终对之前的许多充电操作进行了规范。随着 BC1.1 标准的普及，将会降低制造商和消费者的成本。该标准应用的普及也会提高系统的互操作性。尽管如此，USB 规范也仅仅规定了从端口获取多大功率，仍然将电源管理架构和充电规范留给用户去判读。这正是 Maxim 各种充电器件的用武之地，它们能够为几乎所有 USB 连接的便携设备提供安全、可靠的电池充电器。

表 1 汇总了以上讨论的充电器，这些仅仅是 Maxim 产品的一小部分，更多产品选择请访问电池管理。

表 1. 具有代表性的 USB 电池充电器

Device	Autoadapter Detection	Switch Mode	No. of Inputs	Smart Power Selector Functionality	OVP (V)	Comment
MAX8895	√	—	1	√	+16	—
MAX8814	—	—	1	—	+28	8-pin device
MAX8844	—	—	2	—	+28	—
MAX8934	—	—	2	√	+16	JEITA safety compliant
MAX8903	—	√	2	√	+16	4MHz DC-DC
MAX8900	—	√	1	—	±22	Negative input protection
DS2710	—	√	1	—	—	NiMH