

通过USB为电池充电

USB标准最有价值，却最少被提及的特性之一就是可利用主机USB接口作为电源对外设供电，这与传统的串口和并口相比有了明显的进步，从而戏剧性的促进了能够与PC方便连接的各类设备的增长。

除了直接对USB设备供电，USB电源最有用的功能之一就是为电池充电*。许多便携设备，如MP3播放机、PDA等，都需要与PC机进行数据交换，如果在与PC机进行数据交换的同时，能够利用同一根电缆对电池充电，会极大地方便设备的使用。将USB功能与电池充电功能结合能够使大量设备免受电源线的束缚，如可移动网络照相机，无论是否与PC相连都可以工作。在许多情况下，都不再需要那些曾经使用过的、笨拙的交流适配器。

USB电池充电可能很复杂，也可能很简单，这取决于USB设备的要求。影响设计的因素不仅包括通常的成本、尺寸、重量等。其它重要因素还包括：1) 电池耗尽的设备插入USB端口时，要求多快开始全功能运行；2) 允许电池充电的时间；3) 在USB功率限制范围内的功率分配；4) 是否需要一个交流适配器充电。这些问题和相应解决方案会在讨论USB的功率问题后进行研究。

USB功率

所有USB主机，如PC机和笔记本电脑，每个USB插孔都能支持最少500mA电流输出或驱动5个“单位负载”。在USB术语中，“一个单位负载”是100mA。自带电源的USB集线器也能驱动5个单位负载。总线驱动的USB集线器只能保证驱动一个单位负载。按照图1所示的USB规范，由USB主机或带电源的集线器提供的，电缆外设端的最小可用电压为4.5V，而由USB总线驱动的集线器提供的最小电压为4.35V。用这些电压对充电电压典型要求为4.2V的Li+电池充电时，只有很小的裕度，这使得充电器的压降变得极为重要。

所有接入USB端口的设备启动时消耗电流都不能超过100mA。与主机进行通信后，设备才能决定是否可以用足500mA电流。

USB外设的插座分两种，都比PC机和普通USB主机的插座小。“B系列”和更小的“Mini-B系列”插座如图2所示，B系列由引脚1(+5V)和4(GND)供电，Mini-B系列由引脚1(+5V)和5(GND)供电。

一旦与主机连接，所有USB设备都必须首先让主机识别自己。这一动作被称为枚举。在本文结尾处专门讨论了实际中此规则的例外情况。在识别过程中，主机决定接受或拒绝USB设备的功率要求，如果接受，可以将设备的电流从最大100mA增加到最大500mA。

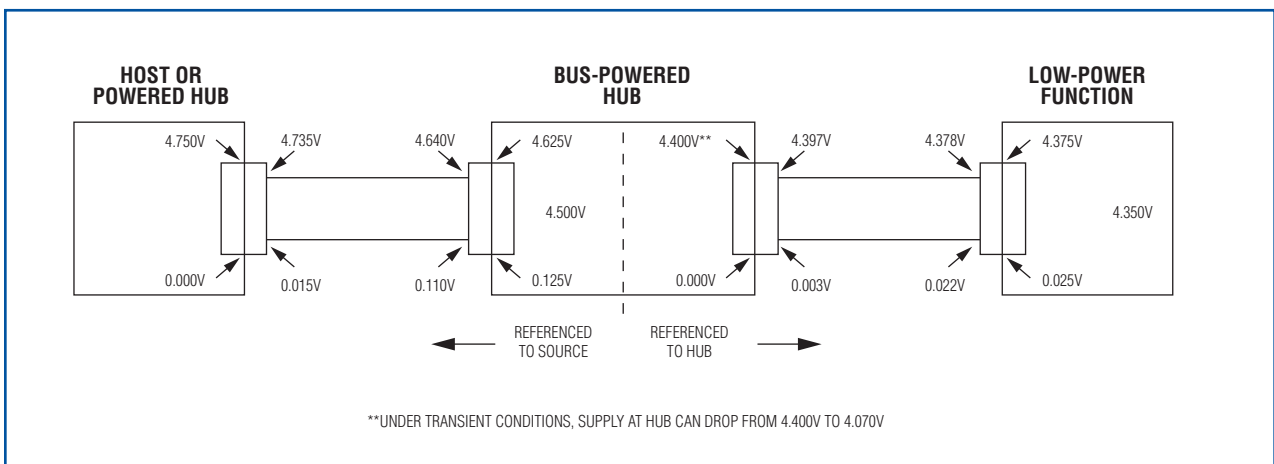


图1. 摘自通用串行总线规范2.0版的USB压降示意图。

*Maxim Integrated Products, Inc. 持有有一个关于各种形式USB Li+ 电池充电的美国专利，专利号：6,507,172。

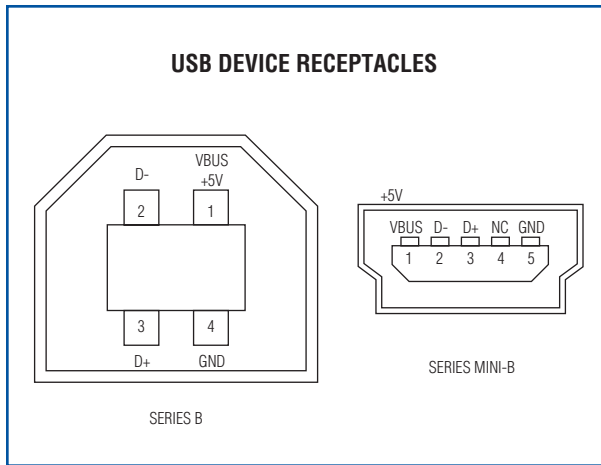


图 2. 这些 USB 外设插座不同于较大尺寸的主机和集线器 4 引脚插座，电源和数据引脚如图所示。

简单的 USB/交流适配器充电

一些最基本的设备不需要软件开销来管理和优化对 USB 电源的使用。如果设备负载电流限制在 100mA 以内，任何 USB 主机，自带电源的集线器，或总线驱动的集线器都可以驱动。这类设计，可采用图 3 所示的一个基本充电器加一个稳压器的配置。

图 3 所示电路中，设备何时与 USB 或交流适配器连接，何时开始对电池充电。同时系统负载一直保持与电池相连，在此例中通过一个最大可提供 200mA 电流的简单的线性稳压器 (U2)。如果系统持续消耗如此大的电流，而电池只以 100mA 的电流通过 USB 充电，最终电池还是会因负载电流大

于充电电流而放电。在许多小型系统中，负载峰值电流仅在整个工作期间的部分时段发生。因此，只要平均负载电流小于充电电流，电池仍然会被充电。连接交流适配器时，充电器 (U1) 的最大电流上升到 350mA。如果 USB 与交流适配器同时连接，自动给予交流适配器优先权。

USB 规范要求 U1 具备的一个特性 (而且，一般来讲对于充电器也是有利的) 是电流不允许从电池或另一个电源回流到电源输入端。在传统的充电器中，可通过输入二极管保证，但 USB 最小电压 (4.35V) 与 Li+ 电池充电所需电压 (4.2V) 之间差异太小，以致肖特基二极管也不适用。因此，所有回流路径在 U1 的 IC 内部被阻止。

图 3 所示电路受到一些限制，也许不适用于某些可充电的 USB 设备。最明显的限制是相对较低的充电电流，如果 Li+ 电池的容量大于几百毫安时，充电时间就会很长。第二个限制是由于负载 (线性稳压器的输入) 总是与电池相连。在此例中，如果电池已深度放电，设备加电时也许不能立即开始工作。这是因为电池达到设备工作所需的电压前有一定的延迟时间。

负载切换和其它改进

在更先进的系统中，需要对充电器内部和外围电路进行多处改进，这些改进可能包括：可选的充电电流，以便匹配源 (USB 或交流适配器) 或电池的

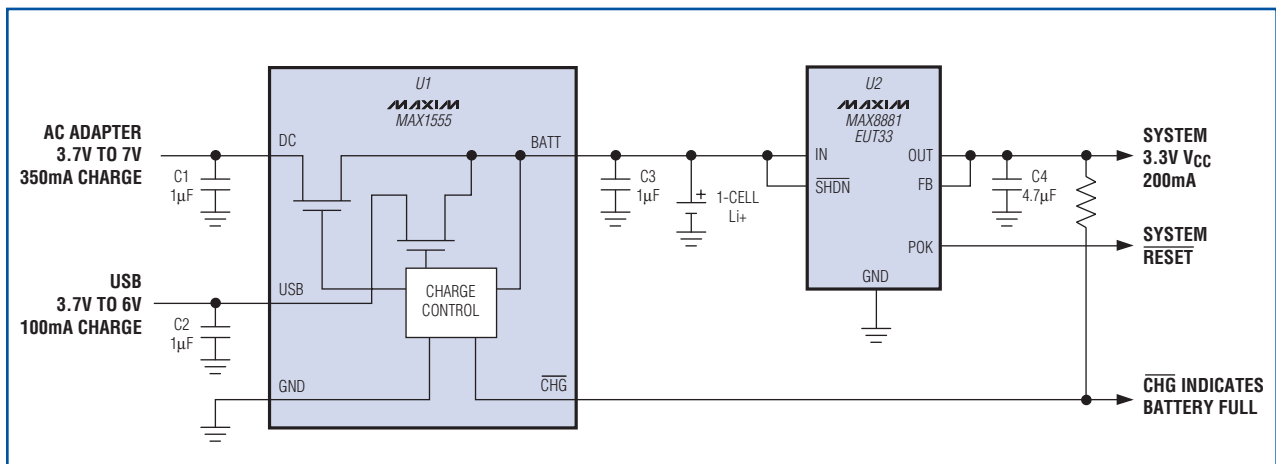


图 3. 使用简单的 100mA USB 充电和 350mA 交流适配器充电，USB 充电电流不超过一个单位负载 (100mA)，不需对充电器枚举。3.3V 系统负载始终取自电池。

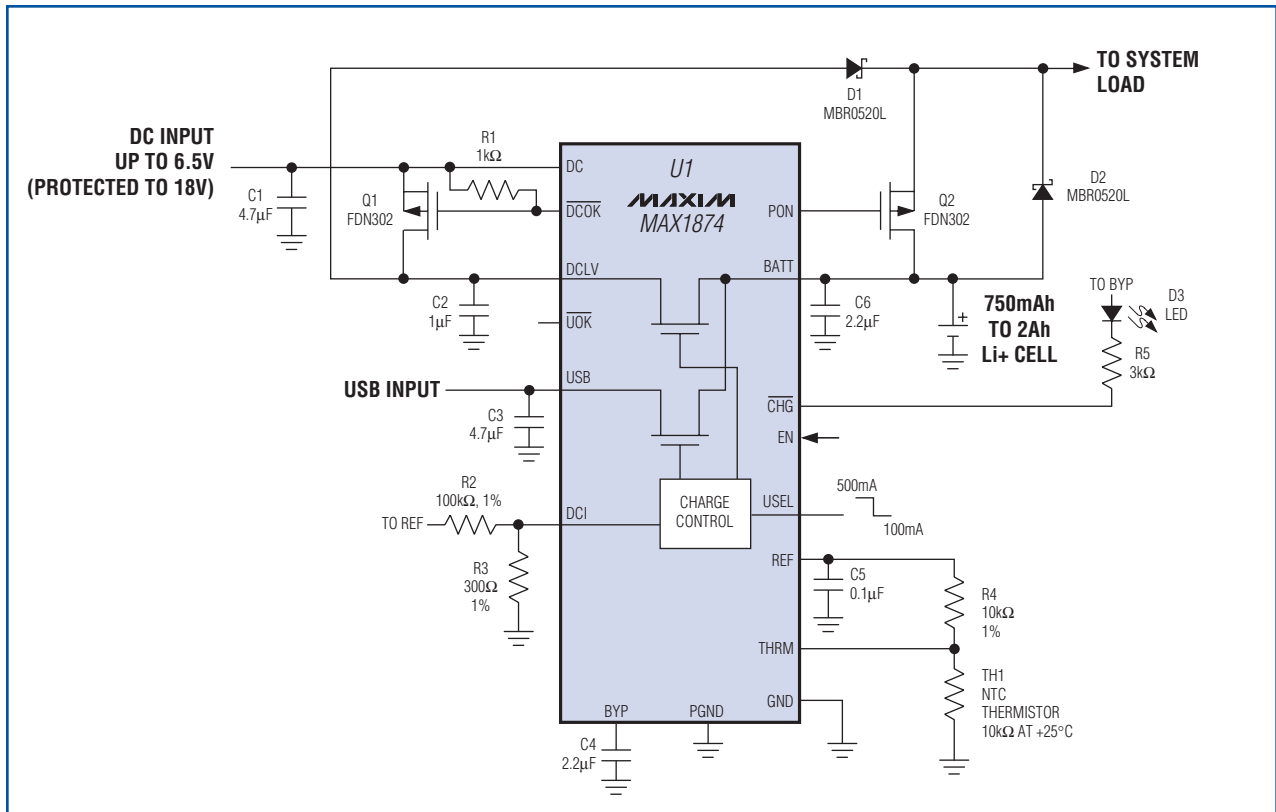


图 5. 一个简化的设计，USB 电源并不与负载直接相连，但 DC 输入与负载直接相连。当连接 USB 时，系统仍然采用电池供电，而同时电池被充电。

在一些设计中，由于系统功率需求的关系，不可能用低于 500mA 的 USB 预算功率分别对负载供电和对电池充电。但是，使用交流适配器没有问题。图 5 所示电路，是图 4 电路的简化，用一个高性价比的方案满足了这一需求。USB 电源并不直接与负载连接；充电和系统运行仍然使用 USB 电源，但系统保持与电池连接。此设计的局限性与图 3 所示电路相同——如果 USB 接入时电池已深度放电，系统要经过一定延迟才能正常工作。但如果连接 DC 电源，图 5 电路能够以同图 4 电路一样的方式工作，无论电池状态如何都不需等待。这是因为 Q2 被关断，系统负载由电池切换到了通过 D1 的 DC 输入上。

镍氢电池充电

尽管 Li+ 电池能为大多数便携式信息终端提供最佳性能，但镍氢 (NiMH) 电池仍为最低成本的设计提供了一个可行的选择。当负载要求不太高时，

使用镍氢电池是一个降低成本的好方法。这需要使用一个 DC-DC 转换器将 1.3V 的电池电压升至设备可使用的电压，典型为 3.3V。因为任何电池供电设备都需要某种类型的稳压器，而 DC-DC 仅是一种不同类型的稳压器，并不是额外增加的。

图 6 所示电路使用了一种不寻常的方法来对 NiMH 电池充电，并且在不使用外接 FET 的情况下，在 USB 输入和电池之间切换对系统负载的供电。“充电器”实际上是一个电流受限的 DC-DC 降压转换器 (U1)，它用 300mA 至 400mA 的电流对电池充电。尽管不是一个精确的电流源，但其适度的电流控制精度仍能满足充电要求，即使电池短路也能保持对电流的控制。使用 DC-DC 充电相比更常见的线性电路，一个很大的优越性就在于能够高效地利用有限的 USB 功率。当以 400mA 电流对一节 NiMH 电池充电时，电路仅从 USB 输入端汲取 150mA 的电流。在充电的同时留出了 350mA 电流可供系统使用。

负载由电池到 USB 的切换，是通过 USB 电源与 boost 转换器输出之间用二极管 (D1) “或” 实现的。当 USB 断开时，boost 转换器产生 3.3V 输出。USB 连接时，D1 将 DC-DC 升压器 (U2) 输出拉升至约 4.7V。U2 输出被拉升时会自动关断，关断后从电池汲取的电流不超过 1 μ A。如果不允许接入 USB 时输出从 3.3V 变成 4.7V，可用一个线性稳压器与 D1 串联。

此电路的一个局限是要依赖系统控制结束充电。U1 仅作为一个电流源，如果不加限制，会对电池过度充电。R1 和 R2 设置 U1 最大输出电压为 2V，作为一个安全界限。充电使能输入端被系统用来终止对电池充电。另外，因为 150mA 的充电器输入电流大于一个单位负载，如果需要，在枚举之前还可作为降低 USB 负载电流的手段。

鲜为人知的 USB 特性

有趣的是无论任何标准，都能看到实际应用与印刷出来的规范有一定差异，或规范没有定义的部分得到很大发展。尽管 USB 在大部分时间毫无疑问都是经过深思熟虑的、可靠的、有用的标准之一，但也不能不受现实世界的影响。这里提供一些观察到的 USB 特性，也许不明显，但仍会影响电源的设计。

USB 端口并不限制电流。 尽管 USB 规范详细规定了每个 USB 端口必须提供多少电流，但对于它能

够提供多少电流，规范给出的界限却极为宽泛。尽管定义了电流上限不能超过 5A，但一个明智的设计者不应该依赖于这个信息。任何情况下，都不认为每个 USB 端口会将它的输出电流限制在 500mA，或附近的一个值。实际上，USB 端口输出的电流经常超过几安培，因为多端口系统 (如 PC 机) 经常只有一个保护器件公用于所有的端口。保护器件被设定在所有端口总额定功率之上。因此，一个 4 端口系统，如果其余 3 个端口未被使用，一个端口就可提供超过 2A 的电流。此外，尽管一些 PC 机使用精度为 10% 至 20% 的 IC 保护方案，其它大多使用非常不精确的自复保险丝，只有负载功率超出额定值 100% 或更高时才会触发。

USB 端口很少 (从不) 关断电源。 USB 规范对此并没有说明，但人们时常认为如果枚举失败，或遇到其它软件或固件问题，USB 电源可能被关断。但实际情况是，除非有电路故障 (如短路)，没有 USB 主机会关断 USB 电源。也许会有例外，但是目前还没有见到。笔记本和主板生产商甚至不愿意为故障保护买单，更不用说智能电源切换了。因此，无论 USB 外设与主机的对话是否发生，5V 一直可以利用 (电流为 500mA 或 100mA，也许为 2A 或更高)。USB 供电的阅读灯、咖啡杯加热器以及其他一些诸如此类没有任何通信能力的产品的出现就证明了这一点。它们可能并不“守规”，但它们工作的很好。

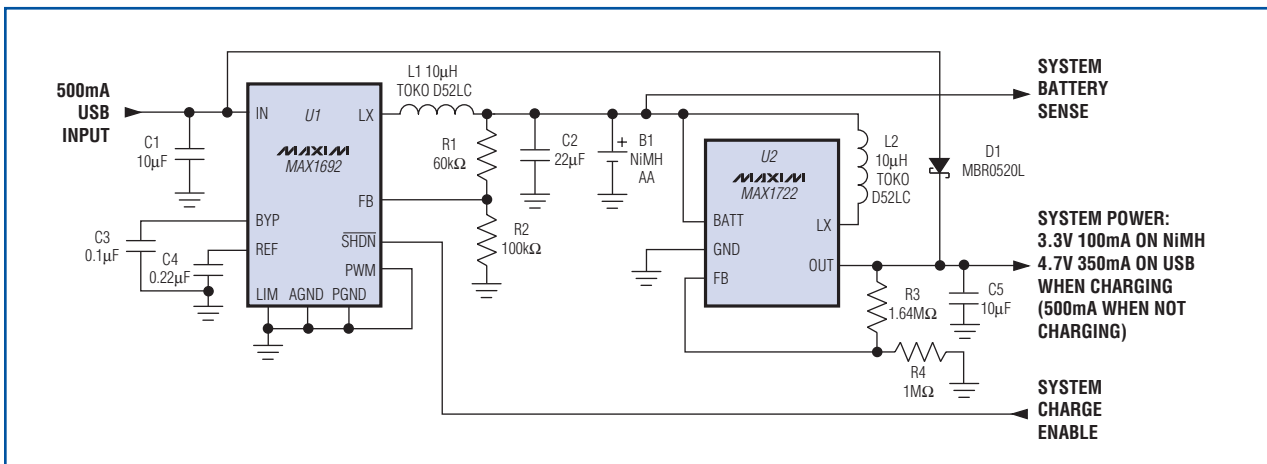


图 6. 一个简单的 NiMH 充电 / 供电电路，不需使用复杂的 MOSFET 开关就可自动切换到 USB 供电。