

几种实用的低电压冗余电源方案设计

引言

对于一些需要长时间不间断操作、高可靠的系统，如基站通信设备、监控设备、服务器等，往往需要高可靠的电源供应。冗余电源设计是其中的关键部分，在高可用系统中起着重要作用。冗余电源一般配置 2 个以上电源。当 1 个电源出现故障时，其他电源可以立刻投入，不中断设备的正常运行。这类类似于 UPS 电源的工作原理：当市电断电时由电池顶替供电。冗余电源的区别主要是由不同的电源供电。

电源冗余有交流 220 V 及各种直流电压的应用，本文主要介绍低压直流(如 DC 5 V、DC 12 V 等)的冗余电源方案设计

《1》 冗余电源介绍

电源冗余一般可以采取的方案有容量冗余、冗余冷备份、并联均流的 N+1 备份、冗余热备份等方式。容量冗余是指电源的最大负载能力大于实际负载，这对提高可靠性意义不大。

冗余冷备份是指电源由多个功能相同的模块组成，正常时由其中一个供电，当其故障时，备份模块立刻启动投入工作。这种方式的缺点是电源切换存在时间间隔，容易造成电压豁口。

并联均流的 N+1 备份方式是指电源由多个相同单元组成，各单元通过或门二极管并联在一起，由各单元同时向设备供电。这种方案在 1 个电源故障时不会影响负载供电，但负载端短路时容易波及所有单元。冗余热备份是指电源由多个单元组成，并且同时工作，但只由其中一个向设备供电，其他空载。主电源故障时备份电源可以立即投入，输出电压波动很小。本文主要介绍后两种方案的设计。

《2》 传统冗余电源方案

传统的冗余电源设计方案是由 2 个或多个电源通过分别连接二极管阳极，以“或门”的方式并联输出至电源总线上。如图 1 所示。可以让 1 个电源单独工作，也可以让多个电源同时工作。当其中 1 个电源出现故障时，由于二极管的单向导通特性，不会影响电源总线的输出。

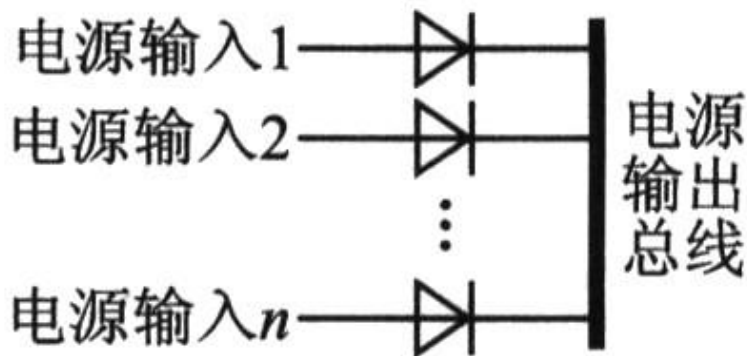


图 1 传统冗余电源方案

在实际的冗余电源系统中，一般电流都比较大，可达几十 A。考虑到二极管本身的功耗，一般选用压降较低、电流较大的肖特基二极管，比如 SR1620~SR1660(额定电流 16 A)。通常这些二极管上还需要安装散热片，以利于散热。

《3》 传统方案与替代方案的比较

使用二极管的传统方案电路简单，但有其固有的缺点：功耗大、发热严重、需加装散热片、占用体积大。由于电路中通常为高电流，二极管大部分时间处于前向导通模式，它的压降所引起的功耗不容忽视。

最小压降的肖特基二极管也有 0.45 V，在大电流时，例如 12 A，就有 5 W 的功耗，因此要特别处理散热问题。

现在新的冗余电源方案是采用大功率的 MOSFET 管来代替传统电路中的二极管。MOSFET 具有以下优点：

- MOSFET 的导通内阻可以到几 $m\Omega$ ，大大降低了压降损耗。
- 在大功率应用中，不仅实现了效率更高的解决方案，而且由于无需散热器，所以节省了大量的电路板面积，也减少了设备的散热源。
- 应用电路中 MOSFET 需要有专业芯片的控制。目前，TI、Linear 等各大公司都推出了一些成熟的该类芯片。

《4》新方案中 MOSFET 的特殊应用

MOSFET 在新的冗余电源方案中是关键器件。由于与常规电路中的应用不同，很多人对 MOSFET 的认识都存在一定误区。为了方便后续电路的介绍，下面对其特殊之处作以说明。

首先，MOSFET 符号中的箭头并不代表实际电流流动方向。在三极管应用中，电流方向与元件符号的箭头方向相同，因此很多人以为 MOSFET 也是如此。其实 MOSFET 与三极管不同，它的箭头方向只是表示从 P 极板指向 N 极板，与电流方向无关，如图 2 所示。

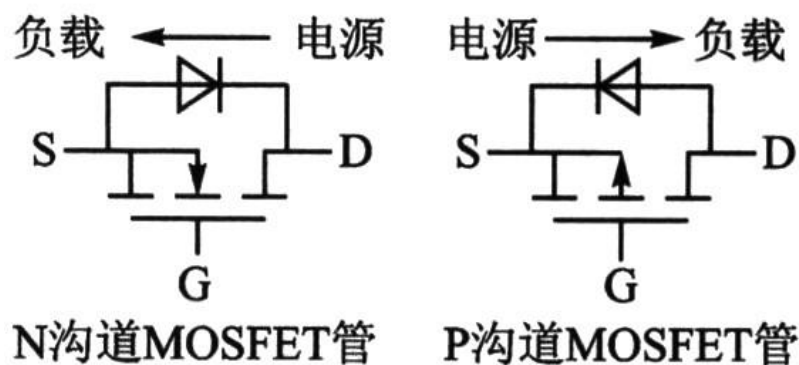


图 2 MOSFET 的器件符号及常规应用中的电流方向

其次，应注意 MOSFET 中二极管的存在。如图 2 所示：

- N 沟道 MOSFET 中源极 S 接二极管的阳极；
 - P 沟道 MOS-FET 中漏极 D 接二极管的阳极；
- 因此，在大多数把 MOSFET 当作开关使用的电路中。

- 对于 N 沟道 MOSFET，电流是从漏极流向源极，栅极 G 接高电压导通；
 - 对于 P 沟道 MOSFET，电流是从源极流向漏极，栅极 G 接低电压导通；
- 否则由于二极管的存在，栅极的控制就不能关断电流通路。

最后，应注意 MOSFET 的电流流动方向是双向的，不同于三极管的单向导通。对于 MOSFET 的导电特性，大多数资料、文献及器件的数据手册中只给出了单向导电特性曲线，大多数应用也只是利用了它的单向导电特性；而对于其双向导电特性，则鲜有文献介绍。实际上，MOS-FET 为电压控制器件，通过栅极电压的大小改变感应电场生成的导电沟道的厚度，从而控制漏极电流的大小。

以 N 沟道 MOSFET 为例：

- 当栅极电压小于开启电压时，无论源、漏极的极性如何，内部背靠背的 2 个 PN 结中，总有 1 个是反向偏置的，形成耗尽层，MOSFET 不导通。

- 当栅极电压大于开启电压时，漏极和源极之间形成 N 型沟道，而 N 型沟道只是相当于 1 个无极性的等效电阻，且其电阻很小，此时如果在漏、源极之间加正向电压，电流就会从漏极流向源极，这是通常采用的一种方式；而如果在漏、源极之间加反向电压，电流则会从源极流向漏极，这种方式很少用到。

在冗余电源的应用电路中，MOSFET 的连接方向与常规不同。以 N 沟道管为例，连接电路应如图 3 所示。如果电源输入电压高于负载电源电压，即 $V_i > V_{out}$ ，电流由 V_i 流向 V_{out} 。由于是冗余电源应用，负载电源电压 V_{out} 可能会高于电源输入电压 V_i ，这时由外部电路控制 MOSFET 栅极关断源、漏通路，同时由于内部二极管的反向阻断作用，使负载电源不能倒流回输入电源。

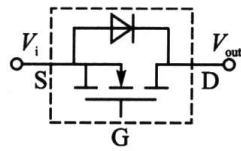


图 3 冗余电源中的单管应用

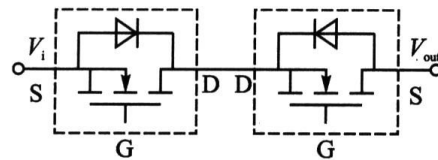


图 4 双 MOSFET 电路

如果需要通过控制信号直接控制关断 MOSFET 通路，上述的单管就无法实现，因为关断 MOSFET 沟道之后，内部的二极管还存在单向通路。这时需要如图 4 所示的 2 个背靠背反向连接的 MOSFET 电路，只有这样才能主动地关断电流通路。

《5》 几种实用冗余电源方案设计

本文主要讨论的是 DC 5 V、DC 12 V 之类的低压冗余电源设计。针对不同的功能、成本需求，下面给出几个设计方案实例。

5.1 简单的冗余电源方案

使用 Linear 公司的 LTC4416 可以设计 1 个简单的 2 路电源冗余方案，如图 5 所示。图中用 1 个 LTC4416 芯片连接 2 个外置 P 沟道 MOSFET 控制 2 路电源输入，是非常简单的方案。它使用 2 个 MOSFET 代替 2 个二极管实现了“或”的作用，MOSFET 的压降一般为 20~30 mV，因此功率损耗非常小，不会产生太多热量。

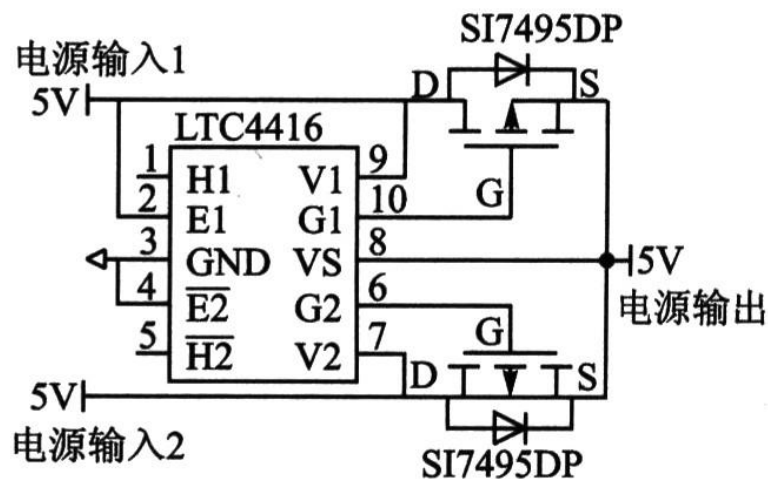


图 5 使用 LTC4416 构建双路冗余电源

该电路的工作原理是，LTC4416 在 2 路输入电源的电压相同（差值小于 100 mV）时，通过 G1、G2 控制 2 个 MOSFET 同时导通，使 2 路输入同时给负载提供电流。当输入电源电压不同时，输出电源电压可能高于某路输入电源电压，这时 LTC4416 可以防止输出向输入倒灌电流。这是因为芯片一直监测输入与输出之间的电压差，当输出侧电压比输入侧电压高 25 mV 时，芯片控制 G1 或 G2 立即关断 MOSFET，防止电流倒流。在防止倒流方面，其他控制芯片也是类似的原理。

LTC4416 还有 2 个控制端 E1、E2，可以用外部信号主动控制 2 路电源的通断，也可以通过电阻分压来监测输入电压的高低，来控制某路电源的导通。具体方法可参阅芯片数据手册。该芯片也适合于 1 路输入电源电压高、1 路输入电源电压低的应用，如“电源+电池”的应用。需要注意的是，要让芯片主动去关断 1 路电源，外部 MOSFET 必须使用“背靠背”的方案，如图 4 所示。

另外，使用 TI 公司的 TPS2412 可以构成多路输入电源方案，这种方案需要为每路输入电源配置 1 片 TPS2412。如图 6 所示，每个芯片通过外部控制 1 个 MOSFET 来模拟 1 个二极管的“或输入”。芯片的 A、C 引脚分别为输入、输出电源电压检测引脚，VDD 为芯片供电电源，RSET 通过配置不同的外接电阻来调节 MOS-FET 导通的速度，也可以悬空。由该芯片可以构成多于 2 路的电源冗余方案。

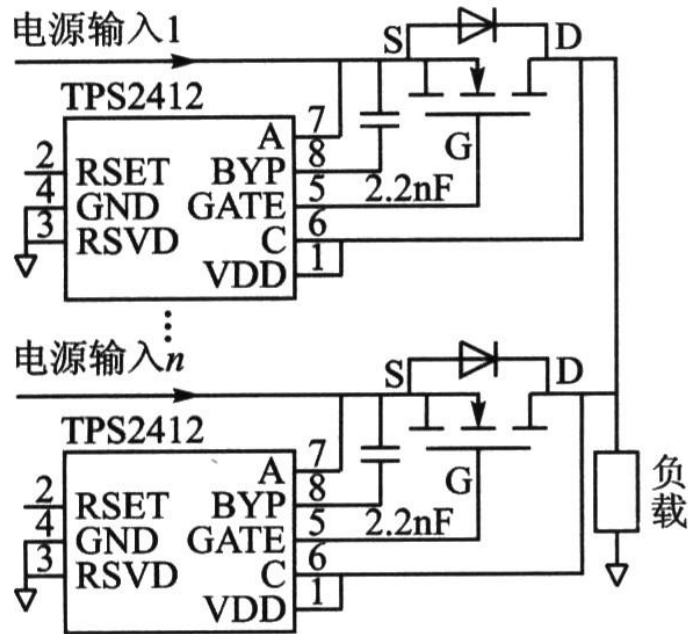


图 6 TPS2412 构成的多路冗余电源方案

5. 2 带过、欠压检测的冗余电源方案

图 7 是由 2 个 P12121 芯片构成的带过压、欠压检测的双路冗余电源方案。P12121 为 Vicor (怀格) 公司的一款电源冗余专用芯片，由于其内部集成有 24 A、1.5 mΩ 的 MOSFET，因此外部电路非常简单。芯片 OV 为过压检测引脚，高于 0.5 V 时 MOSFET 自动切断；UV 为欠压检测引脚，低于 0.5 V 时 MOSFET 切断，FT 为状态输出引脚，VC 为芯片工作电源引脚。使用 P12121 也可以灵活地构成多路输入电源方案。

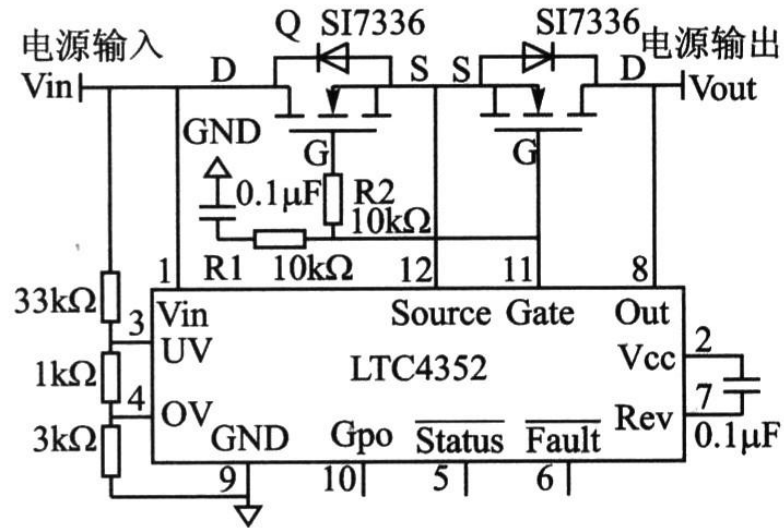


图 8 LTC4352 构成的冗余电源电路

RSENSE 为电流检测电阻，LTC4350 检测该电阻两端的电压，内部放大后与 GAIN 引脚的电压比较，根据比较结果再通过 IOUT 引脚的模拟输出控制输入电源的电压变化，以达到调整该路电源输出电流的目的。另外，UV、OV 引脚分别为欠压、过压检测引脚，LTC4350 通过检测这两个引脚的电压可以控制 MOSFET 的关断，实现欠压保护和过压保护的功能。