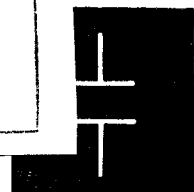
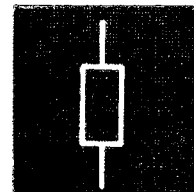
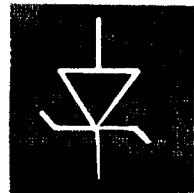
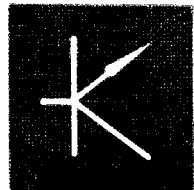
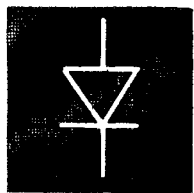


电子设备

电源保护技术



6.8

刘有正 编著

陕西科学技术出版社

代 序

电源是电子设备不可缺少的重要组成部分，电源质量的优劣以及保护措施是否合理、得当，都会影响到整机的可靠性。

在长期的实践中，特别是集成电路广泛应用以来，人们逐步认识到电子设备电源保护技术的重要性。如能根据电子技术的发展，系统地编著一本有关电源保护的书籍，将是一件很有意义的工作。

刘有正同志编著的这本“电子设备电源保护技术”，便是一个良好的开端。本书比较详细地介绍了电子设备电源的过电流、过电压、欠电压、过热保护电路，同时也介绍了有关常用电子设备及器件的保护措施。由于本书具有内容较新、文字简练、实用性强等特点，是电子工程技术人员很好的参考资料，所以我向电子工作者予以推荐。相信编著者的这种辛勤劳动，必将对我国电子技术的发展起到积极作用。

施 国 钧

一九八三年三月于西安

目 录

代 序	施国钧
第一章 简 述.....	(1)
一、电子设备电源设置保护电路的必要性.....	(1)
二、电源可靠性设计中的有关问题.....	(4)
三、直流稳压电源保护电路的分类.....	(8)
第二章 过电流保护电 路.....	(13)
一、过电流保护的基本原理.....	(13)
二、过电流保护电路的保护特性.....	(17)
三、限流型过电流保护电路分析.....	(20)
四、减流型过电流保护电路分析.....	(31)
五、截流型过电流保护电路分析.....	(46)
第三章 过压、欠压保护电路.....	(59)
一、过压、欠压保护的必要性及其实现的方法.....	(59)
二、过压、欠压保护电路分析.....	(61)
第四章 过热保护电 路.....	(80)
一、电源设置过热保护的必要性及其实现的方法.....	(80)
二、过热保护电路分析.....	(81)
三、大功率管的散热保护.....	(86)
四、散热器的种类.....	(96)
第五章 集成稳压电源的保护电 路.....	(105)
一、集成电源的限流型保护电路.....	(105)

二、集成电源的减流型保护电路·····	(111)
三、集成电源的截流型保护电路·····	(119)
四、集成电源的过压、欠压保护电路·····	(124)
第六章 电源的其它保护电路及其实用计算与 制作·····	(127)
一、直流电源的其它保护电路·····	(127)
二、电源的过压、欠压报警电路·····	(137)
三、交流稳压电路简介·····	(143)
四、直流稳压电源几项参数的实用算法·····	(153)
第七章 常用电子设备及元、器件的保护电路·····	(171)
一、集成运算放大器的保护电路·····	(171)
二、电视机的有关保护电路·····	(174)
三、交流电动机的保护电路·····	(184)
四、其它元、器件的保护电路·····	(192)
五、实用优选电路简介·····	(200)
附 录 ·····	(207)

第一章 简 述

一、电子设备电源设置保护电路的必要性

(一) 电子设备电源的保护

随着电子科学技术的发展，电子设备电源已成为影响整机可靠性指标的重要因素之一。电子设备的可靠性，是产品质量的综合反映，它是与产品的科研、生产以及使用都有着密切的关系。为了提高产品的可靠性，除了采用先进的设计及工艺之外，还应考虑如何防止由于用户使用不当及设备的适应性差所引起的质量问题。这就需要电子设计人员在电路设计的同时，还应考虑设置各种保护措施，以便使生产出的产品性能良好，可靠性高。本书则主要是介绍电子设备电源的保护电路及其设计方法。

通常，把设计、制造、工艺等因素所决定的可靠性称为电源装置的固有可靠性 $R_{固}$ ，把与使用电源的有关因素（使用者、维修者、环境变化等）决定的可靠性称为使用可靠性 $R_{使}$ ，电源装置的工作可靠性 $R_{工}$ 与 $R_{固}$ 、 $R_{使}$ 的关系可用下式表示：

$$R_{工} = R_{固} \cdot R_{使}$$

如一台电源装置出厂时的固有可靠性为99%，使用可靠

性为60%，则工作可靠性为：

$$\begin{aligned} R_{\text{工}} &= 99\% \times 60\% \\ &= 59.4\% \end{aligned}$$

这样，电源装置的工作可靠性比出厂时的可靠性大约降低了40%。由此可见使用可靠性对产品的可靠性影响极大，因此在电路设计中必须设法提高使用可靠性，尽可能把使用者的情绪变化所引起的误动作，以及客观条件的变化对产品可靠性的干扰压抑到最低的限度，以达到人与机器的最优配合。

比如，当使用者心情烦躁时，误动作的结果易造成电源短路，此时若在电源电路中设置短路保护电路，就可以避免电源的损坏。当市电波动较大时，若在电源电路中设置过电压及欠电压保护电路，不但能避免电源的损坏，而且还能扩大电子设备对外界环境的适应能力。当大功率晶体管的结温及环境温度升高到一定程度时，为了防止晶体管的热击穿，在电路中也应设置各种过热保护电路。

除此之外，在常用电器产品中，为了提高产品的可靠性，往往也需要设置各种保护措施及电路，如电视机高压打火的防护，大功率管的防护，扬声器的防护，电机的断相防护等，对此，在本书中也用一定的篇幅进行了阐述，以扩大保护系统的实用领域。

（二）半导体器件的防护

目前，各类半导体器件应用较广，但由于以下原因在使用过程中容易损坏，将严重的影响到整机的可靠性。

1. 由于半导体器件的热惯性小，抗电、热冲击的性能较

差,并且其结温随着电流增大及环境温度升高而上升。若不采取过热保护措施,恶性循环的结果,必然造成器件的损坏。

2.半导体器件的性能差异较大,即使是同一批量的半导体器件,也有着较大的离散性。在半导体器件手册中只是提供了一个典型的数据。尽管在电源设备制造过程中,都采用了二次筛选措施,但考虑到产品成本,半导体器件不可能都经过挑选。这样,当条件发生变化时,不可靠的器件就有可能损坏。

3.从极限参数上考虑,电子管器件的极限参数是可以正常工作的参数,而晶体管的极限参数只是可能不被损坏的参数,并不是能正常工作的参数。一旦工作在极限状态,晶体管就不能正常工作,因而整机也将无法运行。

4.二次击穿也是大功率管失效的主要原因之一。通常晶体管的安全工作区是由 I_{cm} 、 P_{cm} 、 BV_{ceo} 所决定的。但是,即使晶体管工作在安全区域以内,也不能完全保证能安全可靠的工作。这种现象除了器件本身的缺陷以及温漂之外,二次击穿也是一个重要原因。通常,二次击穿是指 U_{ce} 增加到一定值时电流迅速增加的现象。当 U_{ce} 进一步增加时,电流剧增, U_{ce} 会突然下降,这种现象称为二次击穿。二次击穿若进一步持续,便有可能损坏晶体管。由于稳压电源的调整管通常工作在 U_{ce} 较高的场合,造成二次击穿的可能性很大。

5.在广泛应用的直流稳压电源中,由于调整管和负载是串联的,全部负载电流都流过调整管。当电源过载或输出短路时,很容易损坏调整管。此时即使安装了保险丝,由于普通保险丝的热惰性较大,保险丝还未熔断,调整管早已损坏,所以仍起不到保护作用。

6. 稳压电源输出电压过高或过低，对负载（电子设备）中电子器件的寿命同样有很大的影响，当电源电压超过额定电压的20~30%，某些集成组件便会因过压而损坏。还有一些电子电路，当出现欠电压时也同样会影响电路的正常工作。特别是在一些进口的电子设备中，因电源过电压所引起的故障较多。这是由于国外电网电压一般较稳，对电子设备所要求的电源电压变动范围较小，此类设备若在国内电网电压变动较大的区域工作时，必然易遭损坏。

通过以上的分析可知，电源的保护电路对提高电子设备的可靠性有着重要的意义。保护系统所保护的主要对象，除了电源本身的器件之外，还有保护负载中电子器件免遭损坏的功能。

二、电源可靠性设计中的有关问题

（一）可靠性的基本概念

所谓可靠性，通常是指产品“在规定的条件下和规定的时间内产品质量符合性能要求的概率”。比如某产品工作了200小时的可靠性为80%，这就是说若有100个产品连续工作200小时，其中有80个能完成规定的功能，有20个不能正常工作。衡量产品可靠性的特征量有可靠度、失效率等指标，这里仅用可靠度的基本概念来说明。

可靠度 $R(t)$ 通常是指 N 个产品经使用 t 时间后，有 n 个产品损坏，其中未损坏的数量与总数量之比。即：

$$R(t) = \frac{N - n(t)}{N}$$

式中，

N ：产品的数量

t ：工作时间

$n(t)$ ：工作 t 时间后损坏的产品数

若系统由许多部件串联而成，则总可靠度等于各部件的可靠度之积。即：

$$R(t)_{\text{总}} = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdots R_n(t)$$

如某一电源由三部分组成，每一部件的可靠度分别为99%、90%、70%，则总可靠度为：

$$\begin{aligned} R(t)_{\text{总}} &= 99\% \times 90\% \times 70\% \\ &= 62.37\% \end{aligned}$$

由此可见元件越多，整机的可靠度越差。因此在电源装置设计过程中，当技术指标达到要求后，不要再增加元件数量，否则将降低总可靠度。

（二）提高电源装置可靠性的措施

1. 采用各类保护电路

为了提高电源的可靠性，应首先提高电源的自我保护能力。为此，在电源电路中应根据需要设置不同的过压、欠压、过流、过热等保护环节。

2. 采用冗余系统

所谓冗余即备份的意思。在供电系统中，采用冗余技术，能大大提高可靠性。冗余系统又分为后备冗余系统和并行冗余系统两种。在后备冗余系统中，一台电源设备正常工作，另外几台备用。当正在运行的电源装置发生故障时，备用的电源装置立即投入正常工作。如负载电流为1A，可采

用二台以上的1A电源供电。当第一台电源装置发生故障后，第二台立即投入工作，当第二台又发生故障时，第三台又立即投入工作。并行冗余系统是指数台电源装置同时对负载供电。由于几台电源装置均在降额条件下工作，如果其中一台发生故障，整个电源系统仍能正常供电。

比如，负载电流为1A时，可采用两台1A电源装置 并行工作，每台电源装置输出电流只有0.5A。如果某一台 装置发生故障，另一台仍能保证供电。显然，整个电源系统的可靠性将大大提高。

上述两种冗余系统可酌情采用。当自动切换装置比较可靠时，可采用后备冗余系统。若自动切换装置的可靠性不高时，可采用并行冗余系统。两台机器组成的并行冗余系统如图 1—1 所示。

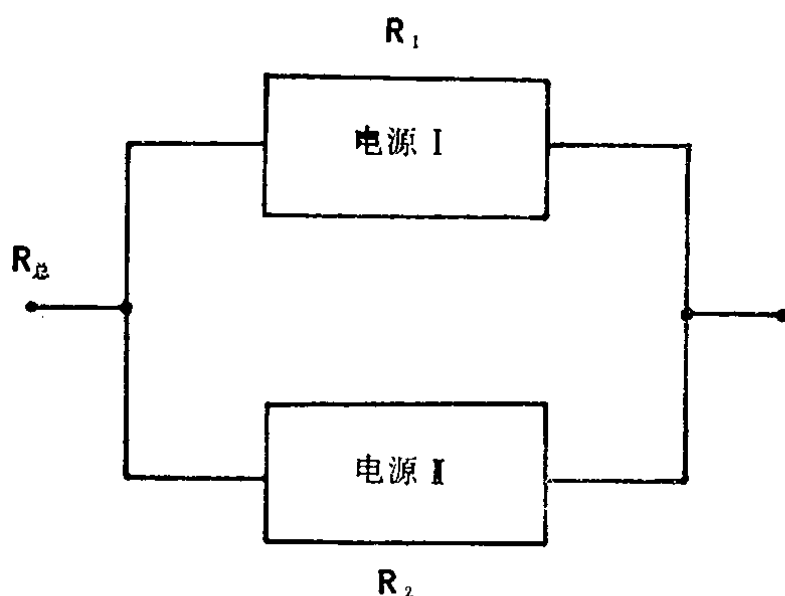


图 1—1 二台机组成的并行冗余系统

经计算，两台机并行冗余的总可靠度 $R_{总}$ 为：

$$R_{总} = R_1 + R_2 - R_1 \cdot R_2$$

若 $R_1 = 0.8$, $R_2 = 0.9$

$$\begin{aligned} \text{则 } R_{\text{总}} &= 0.8 + 0.9 - 0.8 \times 0.9 \\ &= 0.98 \end{aligned}$$

两台电源装置组成后备冗余系统, 如图 1—2 所示。

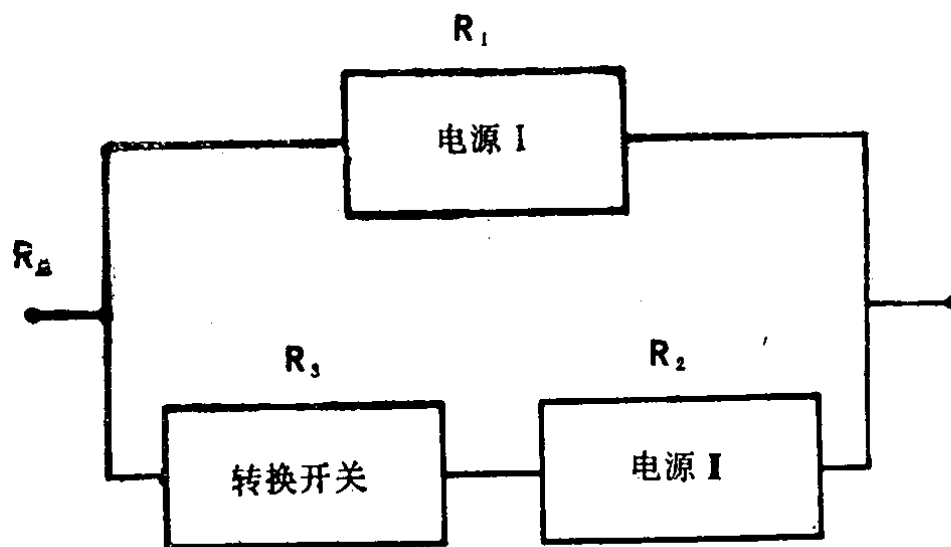


图 1—2 二台机组成的后备冗余系统

平时 I 号电源装置工作, 当它发生故障时, II 号电源装置立即开始工作。经计算这种冗余系统总可靠度 $R_{\text{总}}$ 为:

$$R_{\text{总}} = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2 \cdot R_3)$$

式中 R_3 为切换装置的可靠度, 由此可见, 切换装置对系统的可靠性指标也有很大的影响。

若 $R_1 = 0.9$, $R_2 = 0.8$, $R_3 = 0.9$

则:

$$\begin{aligned} R_{\text{总}} &= 1 - (1 - 0.9)(1 - 0.8 \times 0.9) \\ &= 0.972 \end{aligned}$$

通过上面分析, 可以看出不管是采用并行冗余系统还是后备冗余系统, 其总可靠度比单机工作时都有着较大的提高。

3. 元器件的严格筛选

元器件在出厂时，通常已进行了一次筛选。但在装配成电源时，应进行严格的性能筛选，从而淘汰了性能不佳的元器件。此外，还应进行必要的贮存、冲击、老化筛选工艺，从而淘汰可能早期失效的元器件。这样虽然增加了成本，但却提高了产品的可靠性。

4. 元器件的降额使用

常用的电子器件及阻容元件，尽管手册中都给出了正常工作条件和极限工作条件。但是为了提高可靠性，最好降额使用，耐压为50V的电容器，若工作电压为25V，其击穿损坏的几率将大大减小。1W的电阻，若工作在 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}$ W时，其烧坏的可能性会更小。5A的大功率管工作在1A时，不仅能提高可靠性，而且还可以减小散热器的体积。

5. 采用先进的装配工艺及维修工具

电子设备电源的装配工艺也直接影响着整机的可靠性。一台可靠性很高的电源装置若有一处虚焊，便会降低整机的可靠性。因而在装配元件时应采用先进的装配工艺。比如在焊接线路板时，可采用波峰焊技术，以减小虚焊的可能性。在更换元件时，可使用专用的带有吸锡器的电烙铁，以减小元件被机械损坏的几率。

总之，只要采取以上措施，便能制造出性能不但良好、可靠性也较高的电源设备。

三、直流稳压电源保护电路的分类

稳压电源保护电路按其保护装置的作用，一般可分为过

电流保护电路、过电压保护电路、欠电压保护电路以及过热保护电路四种。

(一) 过电流保护电路

这种保护电路是当负载变化过大，甚至短路时，能使电源的输出电流控制在一定的范围内，从而使稳压电源内的元器件免受大电流冲击而损坏。

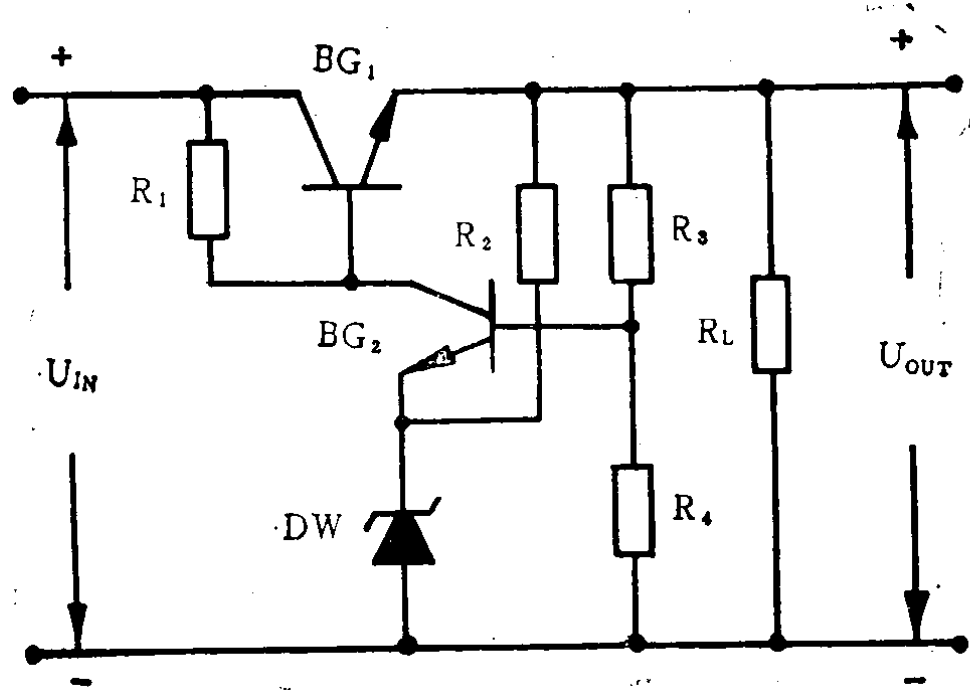


图1—3 串联型直流稳压电源的基本电路

图1—3为串联型直流稳压电源的基本电路。由于调整管 BG_1 和负载 R_L 串联，所以全部负载电流流过调整管。在使用过程中若不慎将稳压电源的输出端短路，很大的电流将流过调整管，此时全部的输入电压 U_{IN} 也都加在调整管的E、C极之间，因此调整管将在十几 μs 内因过压、过流、超功耗而损坏。在半导体电路中，由于普通保险丝的熔断时间较长(ms级)，一般不能使用。使用快速保险丝虽能起到一定的保护

作用，但总不十分可靠，而且经常更换保险丝，也会给用户带来很大的不便。所以在稳压电源中多使用过流保护电路。这样，当负载电流过大时，稳压电源能迅速改变工作状态，使调整管免遭损坏。当故障排除后，稳压电源又能自动（或手动）恢复到原工作状态。根据保护特性的不同，过电流保护电路可分为限流型、减流型、截流型三种。由于这种电路保护的對象是稳压电源内的元器件，因而也称为稳压电源的自保系统。

（二）过电压保护电路

所谓过电压，是指由于某种原因（如电网电压突变、元件变质等）造成稳压电源“失控”，从而使稳压电源的输出电压超过额定值的现象。稳压电源输出电压的升高，必将影响负载电路的正常工作。当过电压值超过一定的限度时，便有可能烧毁负载中的元器件。

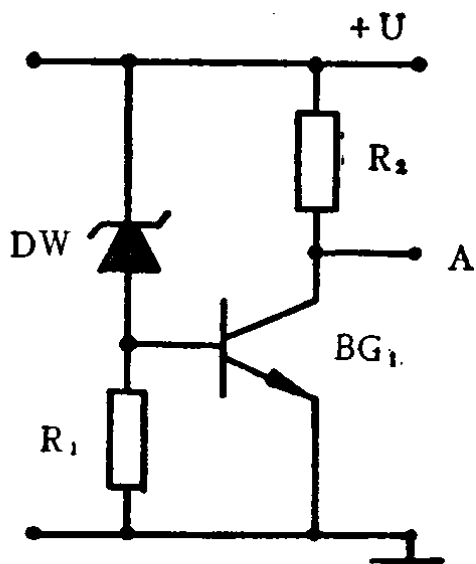


图1—4 晶体管开关电路

图1—4为一晶体管开关电路。正常工作时DW不击穿，故A点为高电位。当出现过电压时，DW导通，BG₁由截止变为导通状态，A点变为低电位，使开关电路产生误动作。由此可见，为了使负载电路正常工作，稳压电源也应设置过电压保护电路。显然过电压保护电路的保护对象是负载中的电子器件。

(三) 欠电压保护电路

所谓欠电压，是指稳压电源的输出电压低于某一门限值的现象。在实际应用中，欠电压不仅能够改变负载电路的工作状态，而且也可能损坏负载中的元器件。

图1—5为一晶体管放大电路。可以看出，当下偏置电压失去或其绝对值过低时，晶体管就有可能因集电极电流过大而损坏。欠电压保护电路的功能，是在欠电压时能迅速改变稳压电源的工作状态，使负载电路中的元器件不致损坏。显然，这种电路的保护对象仍是负载。

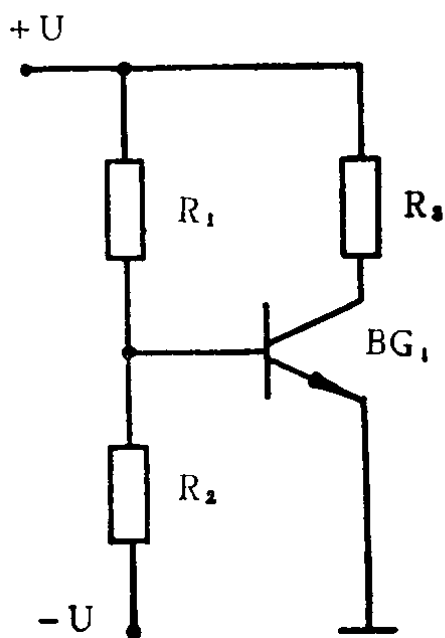


图1—5 晶体管放大电路

(四) 过热保护电路

在电源的工作过程中，其本身也要消耗一定的功率。特别是在串联型稳压电源中，调整管要损耗较大的功率。比如一台12英寸的黑白电视机，其总输入功率约30W，但在稳压电路的调整管上便要损耗10W左右，该功率转变为热量致使调整管的结温大大升高。另外，在电源装置中，往往由于体积及装配位置的限制，使大功率管的散热条件变差，如果不采取合理的过热保护措施，大功率管的结温便会升高。这样又将使集电极电流增加，恶性循环的结果，功率管便会因过热而损坏。因此，在某些要求较高的电源设备中，大功率管必

须设置过热保护环节。过热保护电路不仅可以保护电源本身的元器件，而且也可以保护负载中的元器件，因此它具有双重保护的功能。

在实际应用中，除以上保护电路外，还有短路保护，失电压保护，极性保护，限压保护等等。但实质上短路保护是过电流保护的极端型式。失压保护是欠压保护的极端型式。不管采用什么样的保护电路，原则上都是通过保护电路来改变稳压电源有关元器件的工作状态，最终达到保护电源本身及负载电路中元器件的目的。

第二章 过电流保护电路

一、过电流保护的基本原理

要实现过电流保护，最简单的方法是在电源装置输入端装一个保险丝。这样，一旦出现过载或短路现象，保险丝会立即烧断，因而电源装置内的元器件不会因过电流而损坏。不过这种方法多在电子管电路中采用。这是由于电子管的抗过载能力较强，允许过电流的时间大于保险丝的熔断时间。但是在半导体电路中，由于半导体器件的抗过载能力较弱，允许过电流的时间（ μs 级）小于普通保险丝的熔断时间，若仅用保险丝进行保护便不可靠。因此必须设置过电流保护电路。当然，在有些输出电流较大的电源设备中也有使用保险丝的，但它必须与过电流保护电路配合使用，才能完成过流保护作用，如图2—1所示。

为了降低成本，在低压大电流及开关电源中，有时也采用保险丝实现过电流保护。但应注意保险丝的切断速度应符合一定的要求。

图2—2是普通保险丝的熔断特性曲线。其中 T 为熔断时间， N 为通过保险丝的实际电流与保险丝的熔断电流之比。可以看出， N 值越大，熔断速度越快。比如 2.5A 的保险丝流过 2.5A 电流时，熔断时间为 0.1s 。但流过 10A 电流时，