

固态继电器

图1: 混合式SSR

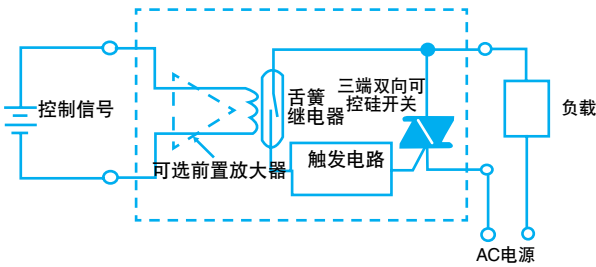


图2: 变压器耦合SSR

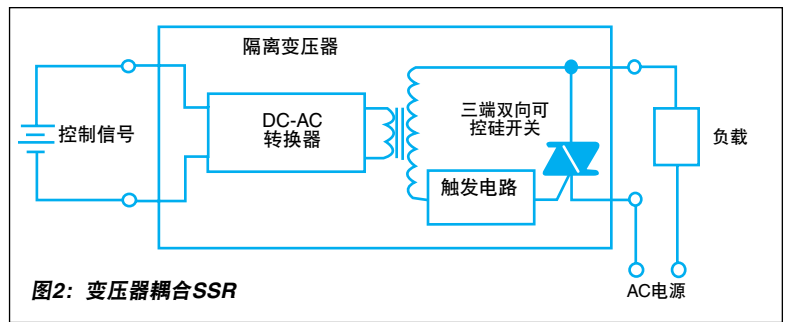
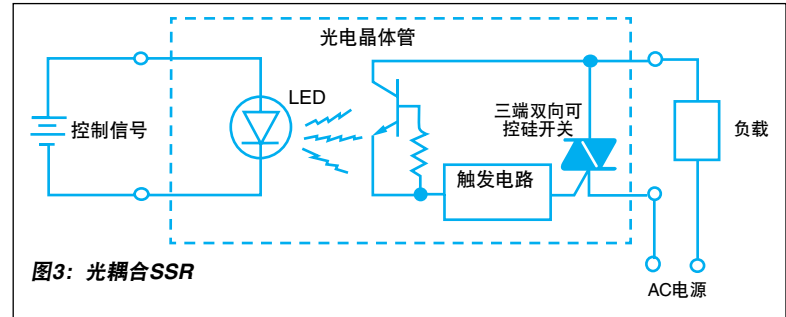


图3: 光耦合SSR



定义与描述

SSR定义: 固态继电器(Solid State Relay, SSR)是一种通断控制装置, 它用一个或多个半导体(如功率晶体管、SCR或三端双向可控硅开关)传导负载电流。(SCR和三端双向可控硅开关通常称为“半导体闸流管”, 是由闸流管和晶体管结合得出的术语, 因为半导体闸流管是触发半导体开关。)

与所有继电器一样, SSR需要相对较低的控制电路能量来在“通”和“断”之间切换输出状态。由于该控制能量比继电器在满负荷下能控制的输出功率低得多, SSR的“功率增益”相当大, 常常比额定输出相当的电磁式继电器(EMR)大很多。换言之, SSR的灵敏度常常比额定输出相当的EMR高得多。

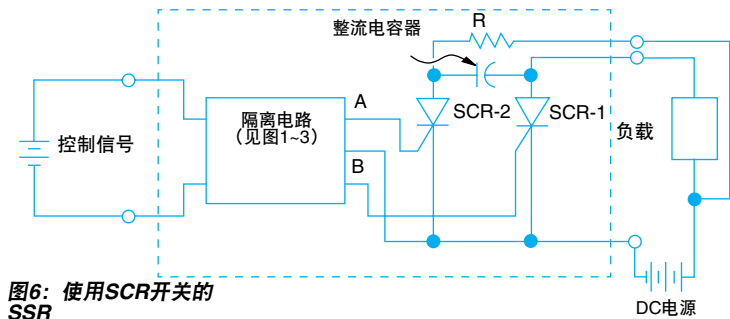
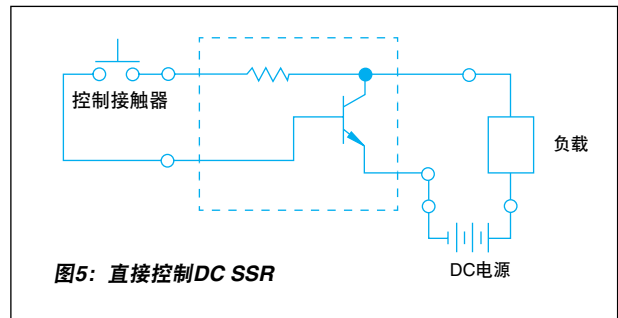
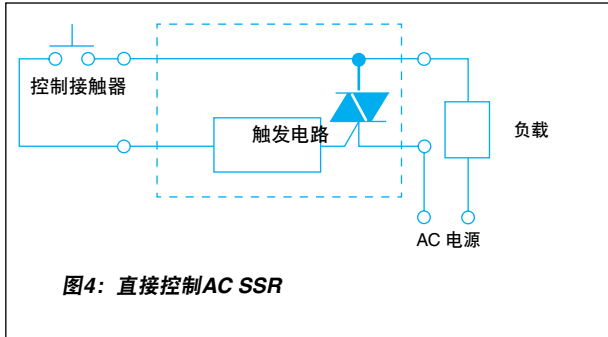
SSR的类型: 一种简单的方法是按输入电路的性质, 并对实现输入输出隔离的方法进行一定的参考来分类SSR。公认的有三个主要类型:

- **舌簧继电器耦合SSR** (见图1) 在这类SSR中, 控制信号被(直接或通过一个前置放大器)加到一只舌簧继电器的线圈上。然后, 簧片开关闭合会接通相应的电路, 从而触发可控硅开关。显然, 输入输出隔离是由舌簧继电器实现的, 通常隔离度极高。
- **变压器耦合SSR** (见图2), 在这类SSR中, 控制信号(如果为DC, 则通过一个DC-AC转换器; 如果为AC, 则直接)加到一个低功率小变压器的初级电压上, 由初级电压激发产生的次级电压(通过或不通过整流、放大或其它调整)用于触发可控硅开关。在这种类型中, 输入输出隔离度取决于变压器的设计。
- **光耦合SSR** (见图3), 在这类SSR中, 控制信号施加到一个光源或红外光源(通常为发光二极管, 或LED), 有一个光敏半导体(即光敏二极管、光敏晶体管或光敏闸流管)检测该光源发出的辐射。然后用光敏器件的输出

来触发(选通)开关负载电流的三端双向可控硅开关或SCR。显然, 输入和输出之间唯一显著的“耦合通路”是光束或红外辐射, 电隔离度极高。这类SSR也称为“光学耦合”或“光隔离”。

除上述主要类型的SSR外, 还有一些专用设计值得一提:

- **直接控制AC型** (见图4), 在这类SSR中, 用外部接触器触发三端双向可控硅开关(或背对背连接的SCR), 外部接触器工作在与负载电路使用同一AC输电线路供电的电路中。这种类型也称为具有一个“开关关闭”输入。显然, 虽然与较复杂的设计相比这种继电器较为简单, 因而成本较低, 但它们具有在控制和负载电路之间没有隔离的巨大缺点(对大多数应用而言)。
- **直接控制DC型** (见图5), 在这类SSR中, 用外部接触器控制晶体管的导通, 外部接触器工作在与负载电路使用同一DC输电线路供电的电路中。这种类型的继电器可能是所有类型中最简单的, 因而成本最低, 但它们也具有在控制和负载电路之间没有隔离的巨大缺点(对大多数应用而言)。
- **针对DC设计的SCR型**, 在这类SSR中, 载有负载电流的SCR通过接在“整流电路”(如图6所示的电路)中的第二个SCR断开, 该SCR通过将第一个SCR的电流瞬间降到零而将其断开。



• 使用特殊隔离方法的设计，如：

- ...霍耳效应，在这类SSR中，置于SSR外部临近位置的磁铁运动引起一种磁场敏感型材料中电阻的变化，从而触发通断行为。
- ...振荡器整定，在这类SSR中，外部信号改变振荡器的频率，从而导致紧密耦合的谐振电路触发通断行为。
- ...饱和电抗器或磁放大器，在这类SSR中，一个绕组中的DC控制电流控制另一绕组中的感应电压（来自AC源）。然后用感应电压触发通断行为。

可以肯定地说：前面所述的三种主要类型（即图1~3）中的一种即可以很好地满足95%以上的所有SSR要求。

输入电路性能：隔离SSR的灵敏度（即可使SSR接通的最小控制电压和电流）取决于隔离器件或电路的特性：

- 在混合式（舌簧继电器隔离）设计中，SSR的灵敏度由舌簧继电器的工作功率要求决定，其工作功率范围非常宽，可低至40毫瓦（如5 Vdc，8 mA），可高达数百毫瓦。请注意，低电压小功率设计与标准数字计算机“逻辑电平”兼容，数字计算机或数字控制器的标准“高扇出”TTL逻辑电平输出可以驱动两个或两个以上并联的混合式SSR。
- 在变压器耦合SSR中，灵敏度通常比混合式高很多，因为输入信号只须选通驱动变压器的AC-DC转换器（见图2），一般所需的功率小于10 mW（如4.5 v dc，2 mA），极少超过50mW。这种灵敏度优于任何单一TTL数字输出要求的值，一个高扇出TTL输出可以驱动3-10个并联的此类SSR。
- 在光耦合SSR中，灵敏度从6 mW（如3 v dc，2 mA）到100 mW。使用合适的串联电阻或稳流器，这种输入电路也与TTL逻辑电平兼容，高扇出逻辑线路可并联驱动多个光耦合SSR。

- 大多数“直接控制”SSR（图4和图5）的灵敏度远远低于隔离式设计的灵敏度，但这一事实并不重要，因为要求的控制功率几乎总是在甚至最小的控制接触器的能力范围内。

SSR的最大断开电平（电压和/或电流）是其最小接通电平的50%左右。这一特点在“通”和“断”状态之间提供了充足的安全裕度，从而消除了由控制信号的小变化导致的不稳定行为。

在许多SSR设计中，控制电压范围远远大于最小接通电压包含的范围。在针对宽输入电压范围进行了优化的设计中，SSR额定用在6:1以上的控制电压范围（如3.0 V ~ 32 V）上的情况并不少见。在混合式设计中，舌簧继电器的线圈可以绕成几乎用于任何可用的控制电压，低至3 V标称值，高达50 V甚至更高，但混合式SSR可承受的输入电压范围受继电器线圈中的耗散影响。一般来说，1.5到1的范围是可以接受的。另一方面，可以使用串联电阻或一个“恒定电流”有源输入电路来使混合式继电器适应较高的输入电压。

固态继电器 (续)

SSRL240DC50固态继电器, 图片小于实际尺寸, 带FHS-2散热器。
详细信息请访问cn.omega.com



图7: SSR的简化电路(a), 以及接通状态的等效电路(b)和断开状态的等效电路(c)

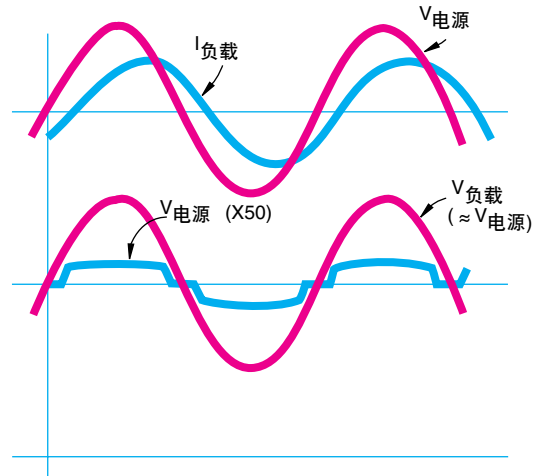


图8a: 接通模式波形
(V电源大幅度放大)

输入特性: 除考虑灵敏度特性(第124页)外, 我们还必须介绍SSR的输入电路隔离特性, 这一特性需要考虑许多不同的参数, 包括:

- **电介质强度:** 用从控制电路到SSR外壳和输出(负载)电路的最小击穿电压来确定额定值。从控制电路到外壳或从控制电路到输出电路的典型额定值都是1500 v ac (RMS)。
- **绝缘电阻:** 从控制电路到外壳和输出电路的绝缘电阻。对于变压器型和混合式设计, 典型额定值范围从10 MΩ到100,000 MΩ。对于光学隔离SSR, 典型绝缘电阻范围1000 ~ 1,000,000 MΩ。
- **杂散电容:** 从控制电路到外壳和输出电路的杂散电容。到外壳的电容很少是显著的, 但到输出电路的电容可将交流和瞬变值反馈到敏感的控制电路, 甚至进一步反馈到更远的控制信号源。幸运的是, 在精心设计的SSR中, 这种电容极少能大到足以引起交互作用的程度。杂散电容的典型范围为1 - 10 PF。

本节后面将讲述SSR对控制电压施加的响应速度。

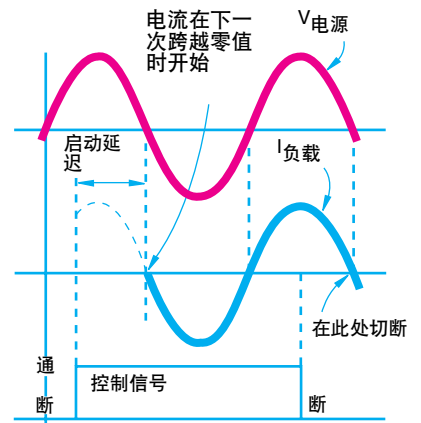
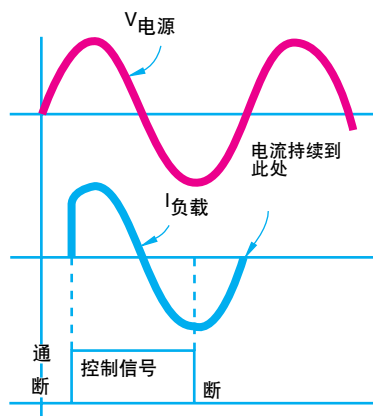
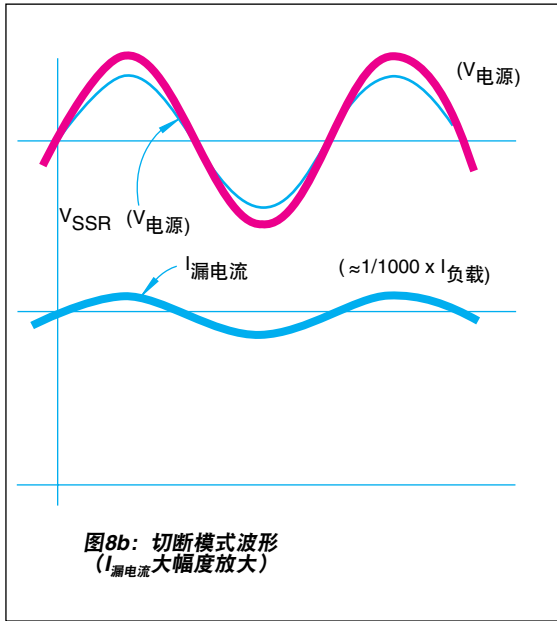
输出电路性能: 显然, 最重要的输出电路参数是在“断”状态下可以加在继电器输出电路上不会导致其击穿为导通或出故障的最大负载电路电压, 以及在“通”状态下可以流过输出电路和负载的最大电流。

请注意, 这些参数与电磁式继电器上接触器的普通额定电压和额定电流相似(至少乍一看是这样)。但是, EMR额定输出和SSR额定输出之间存在差别, 我们将随着本讲解的进行在后面详细研究这些差别。

在最普通的方法中, 我们可以说SSR的“触点额定值”几乎全由负载电流开关装置的特性决定。也许从研究最

简单类型的交流SSR, 即直接控制(非隔离)设计可以最明显地反映这个事实, 例如最初在图4中所示, 后面又在图7中再次呈现并显示了通断状态下的等效电路的设计。在“通”状态(图7b), 三端双向可控硅开关呈现出几乎恒定的压降(即几乎与负载电流无关), 该压降约等于两个硅二极管的压降 - 小于2 V。负载电流流过此压降导致功率耗散($P_d = V_d \times I_{\text{负载}}$), 此功率将导致三端双向可控硅开关结点中的温度升高。如果提供了合适的“散热”, 即从三端双向可控硅开关外壳到外面空气或到导热金属结构的热传导, 导热金属结构可以将功率耗散到周围空气中, 不会有明显的升温, 则三端双向可控硅开关的温度将不会上升到保证可靠运行的额定最大值(一般为100°C)以上。具有充分的散热时, SSR的额定电流可以不由功率耗散决定, 而由三端双向可控硅开关的额定电流决定。

图7c显示了这种非常简单的SSR在“断”状态的等效电路。请注意, 即使当三端双向可控硅开关被切断时, 也会有非常少量的漏电流流过。该电流电路在等效电路中用电阻表示, 实际上是负载电路电压的非线性函数。在确定三端双向可控硅开关的额定值时, 通常习惯做法是为这一“切断状态漏电流”规定一个最坏情况下的最大值, 对于5 A的负载额定电流, 典型值为最大0.001 A。负载电路电压的额定值较简单, 由晶闸管的阻断电压额定值决定。



更常用的隔离SSR（大多设计用于控制交流负载电路）的输出电路额定值的确定与上述方法非常相似，只是“切断状态漏电流”通常更高一些，对于一个5 A的装置，在140 V时漏电流约为5 mA，仍然只是额定负载电流的千分之一左右。图7显示了一个用三端双向可控硅开关控制的SSR设计的等效电路，图8显示了负载电路中的电流波形，都分别显示了“断”状态和“通”状态的情况。请注意，“通”状态压降曲线的刻度范围比“断”状态和负载电压曲线宽得多。

即使在我们研究SSR性能的早期阶段，也有必要考虑控制信号和交流负载电路电压和电流之间的时间关系。

至于定时，有两种类型的开关SSR。其中一种没有采取特殊的措施来在负载电路-电源线路交变与可控硅开关接通之间实现同步。在这类“非同步”开关SSR中，控制电压的施加和负载电路开始导通之间的响应延时非常短，在光耦合和变压器耦合SSR上一般从 $20\mu\text{S}$ 到 $200\mu\text{S}$ ，在混合式SSR上小于 1mS （因舌簧式继电器的操作时间而较长一些）。在非同步设计中，“通”状态的电流波形显然是交流循环中施加控制信号时的函数，如图9a所示。

在同步（零电压接通）设计中，施加控制信号的效果被延迟（如果需要），直到电源线路电压通过零点（见图9b）。（这是由内部选通电路完成的，该电路感应线路电压的量值，并在发生下一次零值跨越前阻止触发半导体闸流管。）因此，如果恰好在跨越零值后立即施加控制信号，SSR实际上将不开始导通，直到几乎完整的半个周期后才导通。另一方面，如果恰好在刚要跨越零值前施加控制信号，SSR将几乎立即导通，只有很小的接通延迟（上面针对非同步设计所述）。那么，很明显，同步SSR的接通延迟可以是任何值，从小于一毫秒到电

源线路的完整半个周期（对于60 Hz电源线路，约为8.3毫秒）。通常，对于60 Hz的供电线，所有固态设计的额定延迟的最大值给定为8.3毫秒，混合式设计最大值给定为1.5毫秒。

AC开关SSR的最后一个主要特性是切断行为。由于半导体闸流管在一旦触发时并不立即停止导通，直到流过它的负载电流降为零时才停止导通，最大可能切断延迟（控制信号撤消和负载电流停止之间）为半个周期。与接通时的情况一样，最小切断延迟接近于零。因此，典型60 Hz线路切断时间额定值为最大9毫秒。