

# 并联逆变器的过流保护和调试方法

湖南大学 谭文其

许昌继电器研究所 陈道才

并联逆变器在电力系统和其他部门应用很广。根据我们几年来研制工作中的一点体会,认为并联逆变器的过流保护的合理设计和逆变器的正确调试,是保证调试和运行中避免烧坏可控硅,保证运行可靠性的两个重要问题。因此,在这里谈谈我们的粗浅看法。

## 一 并联逆变器的过流保护

逆变器由于各种原因(如触发器故障而引起一边或两边触发信号消失,换向电容击穿或断线,变压器内部短路等等)均会引起逆变失败。当逆变失败后,直流回路近似于短接,这时回路内便会通过很大的电流。由于可控硅的过载能力差,而且它过载容许通过的时间随过载电流倍数的增加而减小,因此必须设计一种速度较快的保护。

过流保护类型的选择,主要决定于逆变失败以后直流回路的电阻和电感值。在逆变失败时,直流回路的等效电路近似地可以用图1表示。它的电流是按指数规律变化的,即:

$$i = i_0 + \frac{U}{r} (1 - e^{-\frac{r}{L}t}) \quad \dots\dots (1)$$

式中 $i_0$ ——逆变失败前回路流过的电流,取

$$i_0 = I_{r1}$$

$r$ ——逆变失败后回路的总电阻,

$L$ ——逆变失败后回路的总电感。

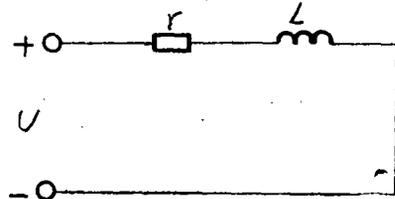


图1 逆变失败时的等效电路

电感的确定是一件很麻烦的事情,要想准确地确定比较困难。但是从最坏的情况考虑,不管电抗器采用空芯的还是铁芯的,均可按空芯线圈来考虑电流的变化规律,这对保护作用的可靠性是有好处的。但是需要注意的一点是,在考虑电抗器的反电势作用时,不应将铁芯电抗器当空芯电抗器考虑。

对式(1)中的 $i$ 取平均值,并将预先选好的过流保护动作时间 $t_0$ 作为积分的上限,便可得:

$$I_P = \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} \left[ i_0 + \frac{U}{r} (1 - e^{-\frac{r}{L}t}) \right] dt \quad \dots\dots (2)$$

求得的 $I_P$ 应满足: $I_P \leq I_{PV}$ ,  $I_{PV}$ 为可控硅在保护动时间内所容许通过的电流平均值。当 $I_P > I_{PV}$ ,说明所选的保护动作时间太长,需选动作时间更小的保护,并且重新校核。

过流保护的类型很多，但是从原理上来讲，一般有两种类型，一种是过流时，保护动作去作用直流开关遮断；另一种是保护动作去作用遮断逆变器的两个可控硅，同时切除触发脉冲。下面我们着重对前一种保护进行说明。

图2示出了这种保护的原理接线。图2a和图2b是分别采用继电器和可控硅作保护的原理图。当过流时，采样电阻 $R_1$ 两端的压降达到或超过过流保护的動作电压，保护动作去接通已充满电的电容器 $C$ 的放电回路， $C$ 对SCR反向放电，使SCR关断。

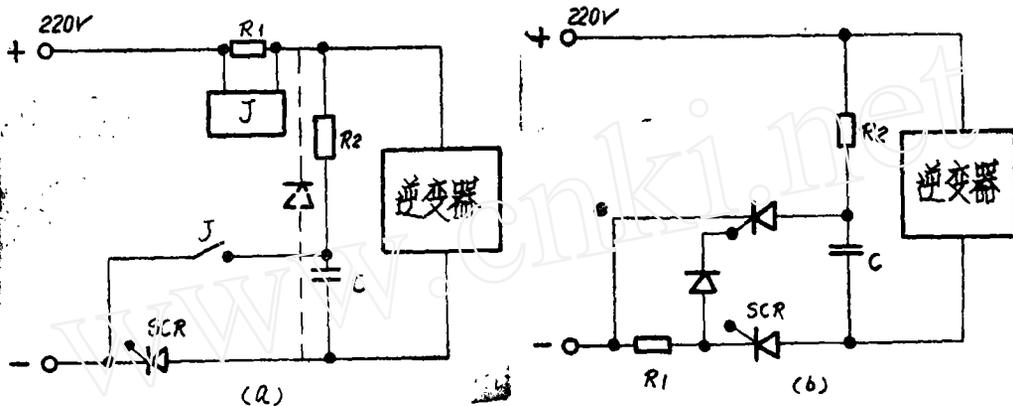


图2 过流保护的原理图

在采用这种保护时有以下一些问题应该注意：

(1) 电容器 $C$ 的数值必须选择恰当，太小了不能关断事故电流，对于它的值可以按下式计算：

$$C \geq \frac{t_{off} I}{U} \quad (\text{微法}) \quad (3)$$

式中 $t_{off}$ ——SCR的关断时间，单位为微秒；

$I$  ——关断前SCR通过的电流，它与所采用的保护动作时间有关，可以用式(1)进行计算；

$U$  ——电源电压。

(2) 当采用速度较慢的保护，尽管满足 $I_p \geq I_p$ 的要求，但不一定能关断事故电流。这是由于当回路的电感值相当大时，会在SCR关断时产生很大的电势，该电势的方向对SCR来讲是正向的，它可能大于SCR的正向阻断电压，使之再导通。在这种情况下最好的办法是采用更快速度的保护，或在逆变器的输入端（即SCR的后面）反接一个二极管，如图2a中的虚线所示。

(3) 利用上述保护，如果不采取其他附加的办法，只能是在逆变器运行中的逆变失败时起作用；对于起动时就逆变不成功，则很难起作用。这是因为图2中的电容器 $C$ ，在保护动作时还来不及充电到足够电压，所以保护动作后无法关断SCR。采用如下的办法可以解决这一问题：

一是采用限流式保护。它的原理电路如图3示。它是利用一个限流电阻 $R$ ，在起动

逆变器逆变不成功时，串接在回路中，起到限流作用。R 的值选到能限制电流在逆变器工作时的额定电流以下就行了，电阻取得太大，有时对起动不利，特别是在空载起动时可能难以成功。

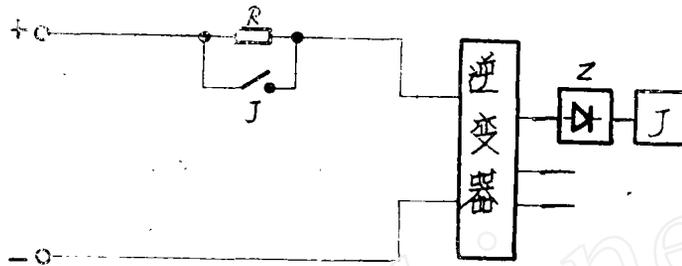


图 3 限流保护原理图

图 3 中的限流电阻 R 是与继电器的常开接点并联的。继电器 J 的工作线圈是由逆变器的一个专门的负载绕组供电的。只要在逆变成功的情况下，J 的常开接点才能闭合去短接电阻 R，使逆变器在全压下工作；逆变不成功时，R 串接在回路中，起到限流作用。

应该注意的一点是，当逆变不成功时，变压器负载绕组仍可输出一个短暂的电压脉冲，它会使继电器接点振动，而引起可控硅和继电器接点烧坏，为此必须在整流器 Z 的输出端并接一个电容，它的数值一般选几十微法便可以了。

再是采用图 4 所示的延时保护。它只是在图 2a 的基础上增加了由 J<sub>1</sub>、C<sub>1</sub>、R<sub>2</sub> 和 R<sub>3</sub> 组成的延时部分，其中 C<sub>1</sub> 是延时电容。当起动失败时，由于 C<sub>1</sub> 充满电有一定的时间，使 J<sub>1</sub> 延时一段时间去短接 R<sub>2</sub>，以保证 C<sub>2</sub> 有足够的充电时间。当 R<sub>2</sub> 被短接后，J<sub>2</sub> 起动，C<sub>2</sub> 放电去可靠地关断 SCR。

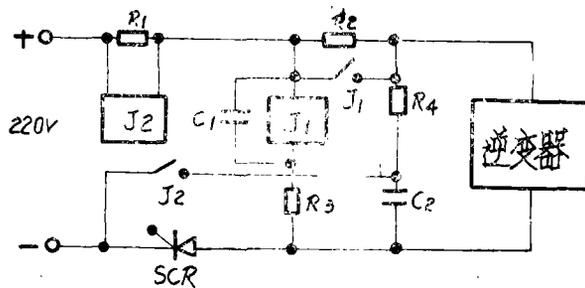


图 4 带延时的过流保护

R<sub>3</sub> 和 C<sub>1</sub> 的值可以这样选择：如果我们选择电容 C<sub>2</sub> 充电到 90% 的 U（电源电压）就可以保证可靠地在故障情况下关断 SCR，并且考虑一般继电器超过  $\frac{1}{2}U$ （继电器的标称动作电压）就可以起动。对 C<sub>2</sub> 可以列出如下方程：

$$0.9U = \frac{U}{R_3} \left( 1 - e^{-\frac{t_1}{R_3 C_1}} \right) \quad (4)$$

对于 C<sub>1</sub> 的充电电路和算子电路可以用图 5a 和 5b 表示。由图 5b 可得”

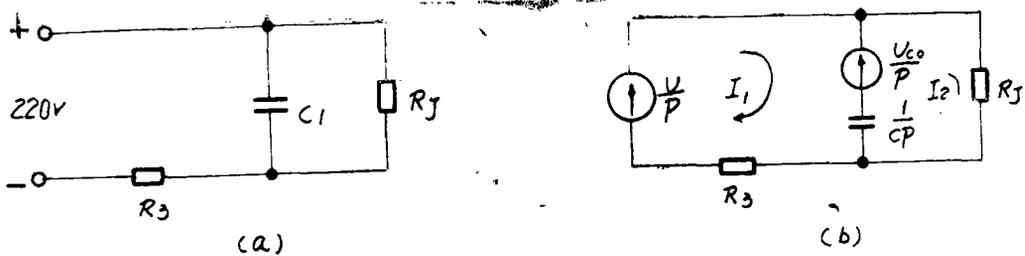


图5 延时电容的充电电路与算子电路

$$I_1 \left( R_3 + \frac{1}{CP} \right) - I_2 \frac{1}{CP} = \frac{U}{P} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$-I_1 \frac{1}{CP} + I_2 \left( R_j + \frac{1}{CP} \right) = 0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

解方程(5)和(6)得:

$$I_1 = \frac{\frac{U}{P}}{R_3 + \frac{1}{CP} + \frac{R_3}{CPR_j}} + \frac{\frac{U}{CP^2 R_j}}{R_3 + \frac{1}{CP} + \frac{R_3}{CPR_j}}$$

$$= \frac{\frac{U}{r}}{P - \left( -\frac{1}{CR_3} - \frac{1}{CR_j} \right)} + \frac{\frac{U}{R_j + R_3} \times \frac{R_3 + R_3}{CR_j R_3}}{P^2 + P \left( \frac{R_j + R_3}{CR_3 R_3} \right)}$$

则*i*<sub>1</sub>为:

$$i_1 = \frac{U}{R_3} e^{-\left( \frac{1}{CR_3} + \frac{1}{CR_j} \right)t} + \frac{U}{R_j + R_3} \left( 1 - e^{-\frac{R_j + R_3}{CR_j R_3} t} \right)$$

$$= \frac{U}{R_3} e^{-\frac{R_j + R_3}{CR_3 R_j} t} + \frac{U}{R_j + R_3} \left( 1 - e^{-\frac{R_j + R_3}{CR_j R_3} t} \right) \quad \dots\dots\dots (8)$$

*R*<sub>3</sub>上的电压变化规律为:

$$U_{R_3} = i_1 R_3$$

$$= U e^{-\frac{R_j + R_3}{CR_3 R_j} t} + \frac{UR_3}{R_j + R_3} \left( 1 - e^{-\frac{R_j + R_3}{CR_j R_3} t} \right) \quad \dots\dots\dots (9)$$

因为一般继电器在*Y*<sub>2</sub>*V*<sub>1</sub>时便能起动,所以只有当*R*<sub>3</sub>上的电压下降到如下值便能使继电器起动,即:

$$U - \frac{1}{2} U_j = U e^{-\frac{R_j + R_3}{CR_3 R_j} t} + \frac{UR_3}{R_j + R_3} \left( 1 - e^{-\frac{R_j + R_3}{CR_j R_3} t} \right) \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中*U*——电源电压,

*U*<sub>*j*</sub>——继电器的标称电压。

当先确定*R*<sub>3</sub>的值后,便可以按(4)式求得延时电容*C*<sub>1</sub>的值。为了可靠起见,将所求的值增加一倍便可以了。

这种保护方式与限流保护比较，它的缺点是不能紧接着连续起动。这是由于前一次起动后， $C_1$ 尚未放电完毕，紧接着进行下一次起动，它的充电时间减小，不能保证保护的可靠性。

过流保护的另一种型式是保护动作去直接作用关断逆变用的两个可控硅。它的原理接线如图6示。 $C_1$ 、 $C_2$ 分别单方向与换向电容 $C$ 并联。当逆变成功后， $C_1$ 、 $C_2$ 均充到440V。如果运行中发生逆变失败时，由于直流回路电流上升， $R_s$ 上的压降超过一定值，使双稳电路翻转，输出脉冲 $U$ 、 $U_1$ 、 $U_2$ 分别同时停止触发器的脉冲以及发出触发 $SCR_3$ 、 $SCR_4$ 的信号，使 $C_1$ 、 $C_2$ 放电去关断 $SCR_1$ 和 $SCR_2$ 。

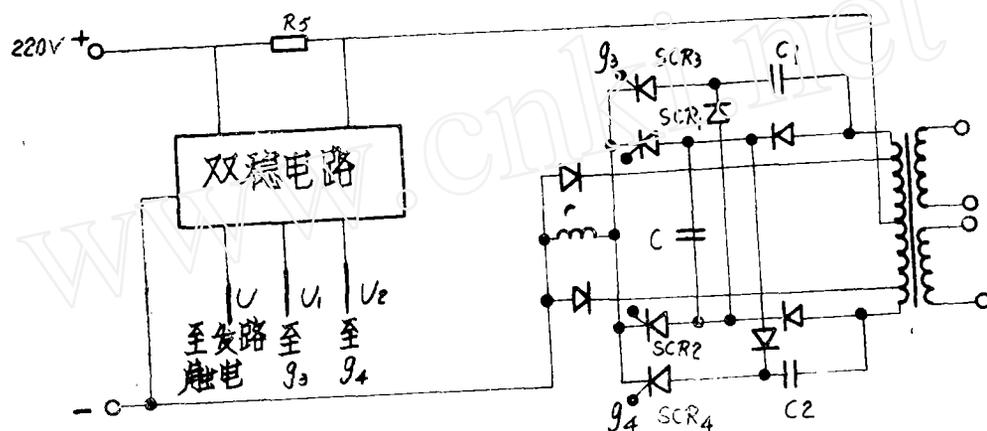


图6 直接关断逆变器可控硅的保护

这种保护与前一种保护比较结构复杂些，因而这里不详细介绍。

## 二、并联逆变器的调试

并联逆变器的调试是要求比较严格的一项工作。如果调试方法不对头，便会造成大量的可控硅烧坏，甚至无法完成调试任务，特别是对容量大的逆变器更是如此。因此，正确的调试方法是保证调试顺利进行以及保证运行的可靠性的重要一环，调试的步骤大致如下：

1. 调整逆变器的频率。逆变器的频率由触发器频率来确定。对于电力系统中用于弱电电源用的逆变器对频率的要求不很严格。一般在额定频率左右波动10%以内影响不大，但是偏离太大，会影响逆变器的正常工作，频率太高，将使逆变器的空载电压大大提高，恶化可控硅元件等的工作条件，频率太低，会增加变压器的负担。因此应把频率调到额定频率左右。调试时还应注意触发脉冲的波形和宽度应一致，否则会使逆变器的两边工作失去对称性，容易引起逆变失败。

2. 过流保护的整定与可靠性试验。它的方法是，断开变压器中间抽头的出线，在电抗器的 $a$ 点与电源正极之间连接一个容许通过额定电流的电阻，这个电阻最好用三个

相同的滑线电阻串联，其接线如图7示。而后分两步进行试验。

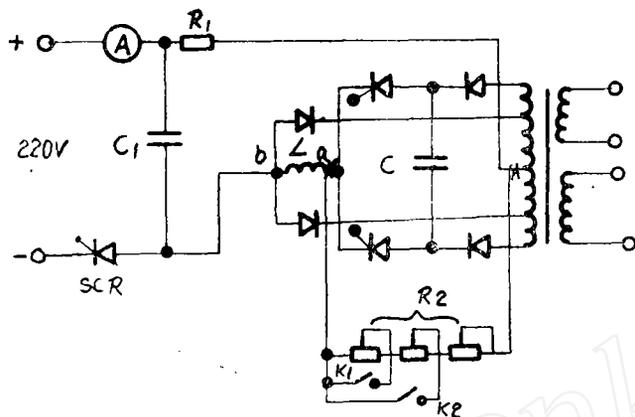


图7 过流保护整定值试验

动后，短接 $K_1$ 、 $K_2$ 保护均能可靠动作去关断SCR为止。

在作以上试验时应该注意以下两点：

(1) 试验电阻 $R_2$ 的左端(图7示)应接在电抗器 $L$ 的 $a$ 点，不要接在 $b$ 点，即应将 $L$ 串进去，才反映短路时的真实情况。如果在 $R_2$ 较大时试验成功，而在较小时不成功，可以加大 $C$ ，如果增大 $C$ (如图2a)不解决问题则可在开关后并接一个二极管再进行试验。

(2) 如果发现起动不了的现象，可以先将直流电路中的输入电容 $C_1$ (见图7)断开，待试验完毕再接上。

(3) 空载试验。试验线路如图8示。将 $R_2$ 调到大于 $U/I_c$ 的值来进行空载起动，而后逐步减小 $R_2$ ，直到将 $R_2$ 的值减小到零能空载起动为止。在起动中如果发现起动按钮松掉后电路自动关断的情况，可以将用于限流保护的电阻 $R$ (见图3)减到略大于 $U/I_c$ 再起动。还不解决问题，便可在SCR阴极与控制极间并接一个几微法的电容。

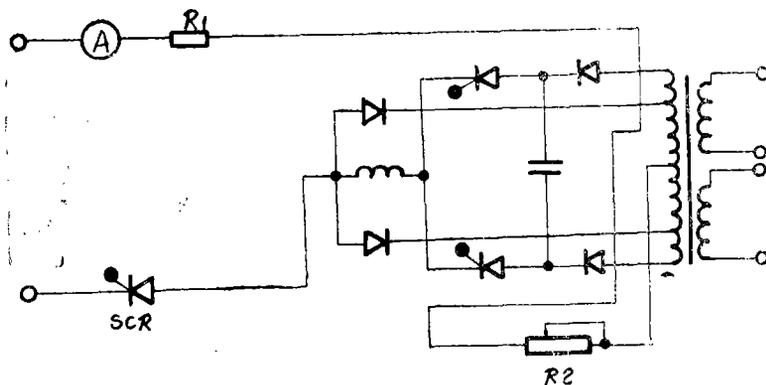


图8 空载试验接线

空载起动作完以后，再检查过流保护在空载时的动作情况。为了可靠起见，先将  $R_2$  滑到略小于  $U/I_c$ （例如使  $R_2 = 0.9 \times \frac{U}{I_c}$ ）进行起动，而后拔掉触发板（或者将短接线短接变压器一个付绕组或一个可控硅的阴极和阳极等均可），检查保护动作可靠性，直到把  $R_2$  减小到零为止。

（4）带负荷试验。它的内容是：检查保护在负荷运行情况下的动作情况，带负荷起动及带负荷长期运行的可靠性。

过流保护的检查与空载时所述的方法完全相同。带负荷起动可在  $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{1}{2}$  和满负荷下进行起动，若均能可靠起动便符合要求。

（5）电压突然波动试验。试验电路如图9示。电路中的  $R$  值应调到逆变器在额定负载下  $R$  上的压降为  $15\%U$ （ $U$  为电源电压），而后用  $K$  短接  $R$ ，再起动逆变器在额定负载下工作。当工作正常时，再拉开开关  $K$ ，逆变器应工作正常。

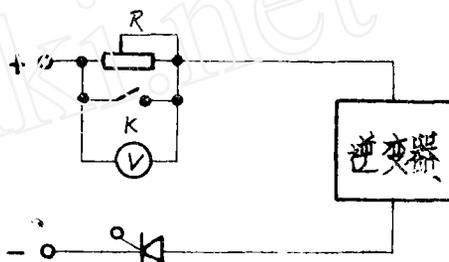


图9 电压突然波动试验电路

（6）稳压器的调整试验。逆变器如果用作弱电电源，它后面连接稳压器。它的调试方法在很多教科书和资料中均有介绍，这里便不予叙述了。

（7）连续运行48小时观察运行情况。前面的试验全部完成后，将输出端接上额定负载，连续运行48小时，观察各元件的运行情况及稳压器的稳压情况。

在有条件的情况下，还应在  $40^{\circ}\text{C}$  室温下进行连续48小时的运行，检查工作情况。以上调整试验全部完成后，便可以正式投入运行。

## 主要参考资料

- 1 中国科学技术情报研究所重庆分所等编译《可控硅应用技术》。科学技术文献出版社重庆分社。1977。
- 2 湘潭电机厂，牵引电气设备研究所译《硅可控整流元件及其应用》。科学出版社。1970。
- 3 石油一厂、二厂、三厂编《电工手册》。1980。
- 4 [美]《Silicon Controlled Rectifier Designers Handbook》机械工业出版社。1976。