

# 晶闸管软起动的移相原理

摘要：本文介绍了通用晶闸管软起动控制器的工作原理，该工作原理即移相原理，移相原理是目前所有晶闸管软起起器共同采用的控制方式，其控制方式下起动的电机起动电流较小，起动平稳且能够满足多种负载。

关键词：晶闸管触发电流功率因数角

## 1、引言

三相交流异步电动机由于结构简单、价格低廉、运行可靠，所以在各个行业得到广泛应用。但其在直接起动时，会产生过大的起动电流，特别是大功率电机，大起动电流严重冲击电网，引起电网供电质量下降，并影响其他设备的正常运行，并且起动转矩造成的机械冲击会降低电动机的寿命。所以起动过程中需要在电机和电源之间串入软起动来解决此问题。

随着电力电子技术的飞速发展，晶闸管软起动装置应运而生。由于其体积小、结构紧凑，免维护，安全可靠。全智能控制，功能齐全，菜单丰富。起动重复性好，保护周全。所以其正逐步取代传统的软起动方式，成为软起动领域新的领军人物。

本文首先阐述晶闸管软起动的目前最普遍采用的移相起动方式。

## 2、系统概述

利用晶闸管的开关特性，通过晶闸管的触发角来改变晶闸管的导通时间，从而控制到晶闸管电机端的输出电压，达到控制电机的起动特性。当晶闸管的电机端电压和输入端相同的时候即电机起动过程完毕后，就让交流接触器（或断路器）吸合（如图 1 所示意，即 QF2 吸合），短路所有的晶闸管，这时电动机将直接连到电网上。

在图 1 中，QS 为高压隔离开关，QF1、QF2 为真空断路器(当电流小的时候，QF2 有时候也采用接触器)，SCR 为（普通）晶闸管，M 为中压电动机。QF1 伺职主电路的通断，QF2 伺职电力器件的旁路。在 SCR 软起动装置里，SCR 共 6 组，每组含（根据电压的高低和可控硅的耐压值来确定 m 的值）个相串的 SCR。

## 3、工作原理

### 3.1 功率因数角

由于电机为感性负载，所以电流滞后电压。当电压过零的时候，电流并未过零，要延迟一段时间后才过零，只有在电流过零的时候晶闸管才关断。我们把电压过零点和电流过零点之间的这个角度称为功率因数角  $\varphi$ 。

### 3.2 导通角和触发角

#### (1) 导通角和触发角

当晶闸管工作时，其输出电压的大小由晶闸管的导通角决定，而导通角又由触发角和功率因数角共同决定。

如图 2 所示， $\alpha$  为触发角， $q$  为导通角。

几个角度之间的关系为： $q = \pi - \alpha + \varphi$

### (2) 初始触发角

初始触发角是给电机建立电流的必要条件，初始触发角一般在  $40^\circ$  到  $60^\circ$  之间，此值根据不同的电机及不同的负载变化。

## 3.3 相序及其检测

### (1) 相序

相序就是相位的顺序，是交流电的瞬时值从负值向正值变化经过零值的依次顺序。在晶闸管软起动中，相序检测极为重要，只有确定相序，才能发出正确的触发脉冲控制晶闸管的导通顺序。

### (2) 相序检测

相序检测是在晶闸管导通前，触发脉冲发出前进行的。本系统通过对三相反并联晶闸管的管压降信号的判别来实现相序检测。设 A 相晶闸管的管压降信号为  $V_a$ ，B 相晶闸管的管压降信号为  $V_b$ ，C 相晶闸管的管压降信号为  $V_c$ 。在电压过零时，管压降为 0。管压降信号  $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$  严格遵守三相交流电相序规律，信号的周期为  $180^\circ$ ，各相的相位差为  $120^\circ$ 。

以  $V_a$  为基准，当  $V_a$  开始有压降，此时开始计时，若  $60^\circ$  后到来的信号是  $V_c$ ， $120^\circ$  后到来的信号是  $V_b$ ，则可判定为正相序。相反，当  $V_a$  开始有压降，若  $60^\circ$  后到来的信号是  $V_b$ ， $120^\circ$  后到来的信号是  $V_c$ ，则可判定为逆相序。

## 3.4 脉冲触发

### (1) 触发同步

为了能对主回路的输出电压  $U_d$  进行准确的控制，SCR 必须接受与 SCR 主电路具有相同频率的触发信号。在 A、B、C 三相电路中，正相晶闸管触发信号相位相差  $120^\circ$ ，反相晶闸管触发信号相位也相差  $120^\circ$ ，而同一相中反并联的两个晶闸管的触发脉冲相位相差  $180^\circ$ 。宏观来看三相交流调压电路，是每隔  $60^\circ$  控制器发出一个触发脉冲。

### (2) 触发脉宽

晶闸管的触发是有一个过程的，也就是晶闸管的导通需要一定的时间，不是一触即通，只有当晶闸管的阳极电流即主回路电流上升到晶闸管的擎住电流  $I_L$  以上时，管子才能导通，所以触发脉冲信号应有一定的宽度才能保证被触发的晶闸管可靠导通。例如：一般晶闸管的导通时间在  $6\mu s$  左右，故触发脉冲的宽度至少在  $6\mu s$  以上，一般取  $20\sim 50\mu s$ ，对于大电感负载，由于电流上升较慢，触

发脉冲宽度还应加大，否则脉冲终止时主回路电流还未上升到晶闸管的擎任电流以上，则晶闸管又重新关断，所以脉冲宽度不应小于  $300\mu\text{s}$ ，通常取  $1\text{ms}$ ，相当于  $50\text{Hz}$  正弦波的  $18^\circ$  电角度。

### 3.5 移相调压过程

由于异步电动机是感性负载，从电力电子学中得知，当交流调压电路带感性负载时，只有当触发角  $\alpha$  大于感性负载的功率因数角  $\varphi$  时，才能起调压的作用，因为当  $\alpha < \varphi$  时，电流导通的时间将始终保持在  $180^\circ$ ，其情况和  $\alpha = \varphi$  时一样，相控不起任何调压作用，甚至在晶闸管触发脉冲不够宽的情况下，还会出现只有一个方向的晶闸管在工作，负载上可能出现直流分量，危害晶闸管的安全。因此在使用相控晶闸管电路时必须采用宽脉冲触发或双窄脉冲触发，移相范围限制在  $\varphi \leq \alpha < 180^\circ$ 。

晶闸管的输出电压为介于导通角  $q$  间的波形，改变  $q$  角的大小，就可以调节电机的输入电压。 $q$  角与  $\alpha$  角和  $\varphi$  角都有关，对于恒定的负载阻抗， $q$  角是常量，只要调整  $\alpha$  角就可以改变晶闸管的输出电压，但电机的功率因数角是电机转速的函数，在电机起动过程中，随着转速的提升，功率因数角在不断变化，因此，对晶闸管触发角  $\alpha$  的调整要兼顾  $\varphi$  角的变化情况。只有这样，才能达到使电机输入电压按预定规律变化的目的。

## 4、实现方案

在软起动过程中，DSP 以电流过零点为触发条件，DSP 每检测到一次电流过零点就会发一次触发脉冲。首先根据电机的参数特性设定触发角  $\alpha$  的初始值，在起动过程中，触发角  $\alpha$  不断的前移，直到移动到功率因数角  $\varphi$  为止，此时触发角的值等于功率因数角。这个时候发出的触发脉冲正好是在电流过零点处，也就是晶闸管关断的时刻。由于触发脉冲具有一定宽度，可以持续到电流过零点以后，所以此刻发出的触发脉冲会使晶闸管全压导通。晶闸管全压导通的时刻，也就是软起动过程结束的时候，此时就可以投切旁路真空接触器，来短接晶闸管。为了避免电流的二次冲击，需要延时一段时间后停止发出触发脉冲，此时整个软起过程完全结束。

## 5、实际控制效果

本文以功率因数角作为软起动的控制依据，可以实时的跟踪电机的功率因数的变化，根据功率因数的变化来调整触发角度。所以大部分晶闸管软起动控制方式采用此移相控制方式。本文所介绍的根据功率因数角移相的起动方式，在实际应用过程中很好的实现了电机的平滑起动，为用户提供了满意的软起动产品。

## 6、结束语

本文介绍了以功率因数角作为反馈信号来控制电机的晶闸管移相起动方式，此控制策略能更准确的判断出晶闸管的关断时刻，由此可以更精确的发出触发脉冲来控制电机的软起动过程。