

# HVDC 微机阀控系统的研制

许昌继电器研究所 张 望

西安交通大学 段立诚 陈刚 孙涛

**摘要:** 根据国家“七·五”科研攻关合同,以舟山一期工程为对象,研制了两套接近于工程实用的微机阀控系统样机,具有整流逆变两侧换流器起停、正常运行调节、潮流反转、紧急停机等控制特性。在西电公司交直流模拟系统上,按照舟山系统建模,完成了两侧无通讯及有通讯状态下的联合调试及交直流系统的故障试验。研制的门极控制单元,熄弧角测量装置和锁相同步装置,不仅可以用于以后的直流工程,还可为葛沪工程及其它引进工程(如BBC静补工程,交直流模拟系统)提供备品。本文拟就该系统的硬件结构和软件功能作一介绍,希望对我国直流输电微机控制的研究起到一定的推动作用。

**关键词** HVDC微机阀控 门极控制 熄弧角 锁相同步

## 一 概 述

70年代初期我国已开展对直流输电控制系统的研究工作,舟山工程的数控装置已投入运行,而把微机用于直流输电阀控制的研究从80年代初开始到现在,基本还处于实验室研究阶段。尽快地研制控制功能完善,可靠性高,使用灵活的微机控制系统,使直流输电的微机控制技术逐渐达到工程应用水平,是急待解决的课题。

本课题以舟山工程单极,单桥双端直流系统为基本模式研制了换流阀的微机控制系统,装置具有以下特点:

1. 硬件和软件均为模块化结构,以便扩展。
2. 整流、逆变两侧硬件软件结构完全相同,以解决双向功率传输问题。
3. 参考值的整定采用十进制拨盘;系统实际直流电流电压 $I_d$ 、 $V_d$ 控制角 $\alpha$ ,熄弧角 $\gamma$ 采用十进制数码显示;所有功能操作,如整流站和逆变站的确定、起动、停机和潮流反转的执行;状态显示,如当前调节器的运行状态、主导站状态等均采用——对应的功能键和发光二极管指示灯。这样运行人员不掌握计算机知识也可方便地进行操作。

基于舟山工程受端是个弱交流系统。样机的基本调节方式和目前舟山数控装置在调节方式上的配置是大体相当的,整流侧备有定直流电流调节和最小 $\alpha$ 角限制功能,逆变侧有定直流电压调节,定直流电流调节和最小熄弧角限制功能(如图1所示)。

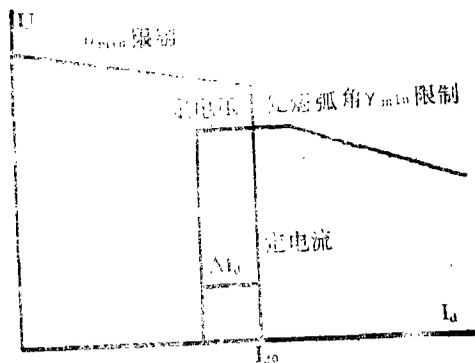


图1 基本调节方式的伏安特性

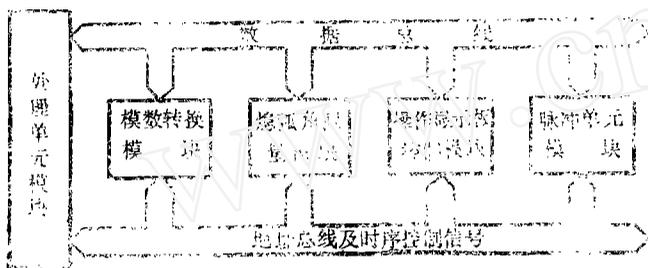


图2 阀控系统构成方框图

WDT电路。其原理是，程序正常运行时定时复位WDT电路，一旦程序出错走飞，定时复位WDT的操作停止。WDT输出一个足够宽度的低电平脉冲强迫系统复位。复位后在系统软件的引导下，重新恢复程序的正常运行。

### 2. 模数转换模块

为了最大限度地滤掉6脉冲换流器的特征谐波。提高控制调节的质量，本系统对直流电压和直流电流进行周期 $T = 0.833\text{ms}$ 的定时采样（每工频周期采样24次）。然后由软件对采样值进行滑动滤波，取4次采样的平均值作为系统的实际电流电压值。为减小控制调节的时滞及提高调节的精度，选用了分辨率为12位，精度 $1/2\text{LSB}$ ，转换时间 $2.5\mu\text{s}$ 的AD574芯片，以它为主体构成了模数转换模块，与处理单元之间的接口则由一块8155担任。

### 3. 熄弧角测量模块

熄弧角是指某一桥臂的电流过零点 $S_i$ 和换相电压过零点 $C_i$ 之间的工频电角度，它是防止逆变侧换相失败的一个重要条件参数。该模块以可编程8253定时计数器为主体配合D触发器组成。该模块的计数脉冲取自与交流系统频率同步的锁相同步装置，计数的时钟频率为3072倍系统频率，以该时钟对熄弧角计数，然后由处理单元转换成角度值。

### 4. 操作显示面板控制模块

该模块是运行人员与控制系统的界面，通过它运行人员可以对直流系统的参考值，运行方式和功率输送的各种运行状态、功率大小来进行观察监视，必要时采取相应的对策和措施。

## 二 硬件结构

### (一) 总体结构

控制系统的硬件设计采用模块结构，各模块间的联系如图2总体框图所示，分为1. 处理单元模块。2. 模数转换模块。3. 熄弧角测量模块。4. 操作显示面板控制模块。5. 脉冲单元模块。其中串行通讯使用8031串行通讯接口，（图中省略）。由于采用了模块化结构，系统扩展比较方便，如把图中的脉冲单元个数加倍，就可以方便地构成12脉冲，甚至是24脉冲系统。

### (二) 模块功能简述

#### 1. 处理单元模块

处理单元采用8031单片机。配有24KB的程序存储器及8KB的随机存储器及有关的地址锁存和译码选通逻辑。晶振选用6MHz。为提高系统的可靠性，设计了一个

设计专用显示操作面板在于:

(1) 减小处理单元的软件负担

采用可编程8279键盘显示器专用接口芯片为主体构成显示操作面板控制模块。8279有16个字节的显示RAM,接发光二极管和八段显示器,另有8个字节的FIFO传感器RAM,存放十进制拨盘开关和键盘状态。定时扫描和去抖操作全由8279内部逻辑实现,并可通程序改变,因而使处理单元节省出大量的时间去处理更高层次的任务。

(2) 运行调试操作方便

为此作了如下安排:

A、4位十进制拨码开关,其中三位用于直流电流参考值的整定,整定范围0~999。一位用于起停过程中的电流升降速度整定,可整定0~9共十种速度。

B、12个共占两个字节的操作功能键。如整流键,逆变键用于预先确定功率的传输方向,起动键,停机键和潮流反转键分别用于启动对应的操作,主导状态键用于确定主导站(约定只有主导站整定的参数才能被系统接受)等,各键功能专一,均无第二功能。

C、8位十进制数码用以显示系统参数,其中三位显示系统实测电流(安);三位显示系统实测直流电压(千伏),两位显示 $\alpha/\gamma$ 角度值(度),整流、逆变两侧分别自动转换显示内容。

D、16个LED发光二极管分占两个显示字节,显示整流、逆变、起动、停机、保护跳闸等状态。

显示清晰直观,提高了控制系统的实用性。

5. 脉冲单元模块

脉冲单元模块是一个专用的外围单元模块,它的作用是接收处理单元送来的12位 $\alpha$ 角度值,然后自动产生并输出脉冲宽度为120°的换流阀触发脉冲 $P_i$ 。 $P_i$ 脉冲与交流系统的同步,脉冲的延时和分配均不要处理单元的CPU参与,一切自动进行。CPU只需定时送来12位的角度值就行了。该脉冲单元还具有脉冲的解锁和闭锁以及自动投旁通的功能,在其闭锁控制输入端输入低电平,触发脉冲立即被封锁。在旁通控制输入端输入高电平,脉冲逻辑单元就会自动投入旁通对。

6. 串行通讯接口

串行通讯接口用于在整流逆变两侧传输控制过程中需要的模拟量,状态信息及控制命令,由于对舟山工程目前通讯情况不了解,没有研制专用的通讯接口,暂用8031串行口加以适当电平提升后用作两侧的通讯,主要是进行功能方面的验证。

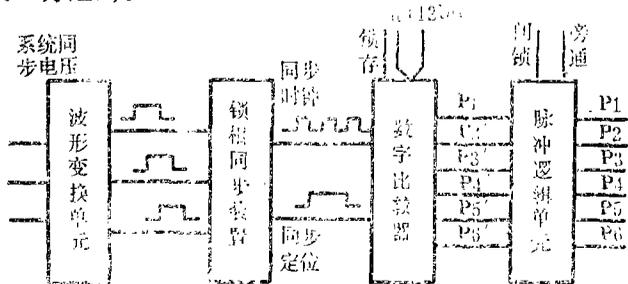


图3 脉冲单元模块原理框图

### 三 软件功能

(一) 稳态运行特性的选择

舟山直流输电系统送端华东电网容量超过1000万KW受端容量为 $3 \times 12$  MW外加一台30MVAR的调相机的弱系统。直流线路输送功率为50MW, 额定电压100kV, 额定电流500安, 针对以上特点已选取了图1所示的控制特性。

整流逆变两侧可能出现三种控制方式的组合:

1. 整流侧定电流控制, 逆变侧定电压控制: 是最基本的运行方式, 不管是起停过程, 还是系统正常稳定运行时控制软件都保证调节器工作在这种组合方式之下。

2. 整流侧定电流控制, 逆变侧进入最小熄弧角限制: 当整流侧交流电压升高或逆变侧交流电压降低, 逆变侧可进入最小熄弧角限制, 以保证系统安全, 这种组合方式为非正常情况, 一旦交流系统电压恢复正常, 即可返回到前一种基本控制组合方式上去。

3. 整流侧进入最小触发角 $\alpha_{min}$ 限制, 逆变侧转入定电流控制: 当出现整流侧交流电压下降, 致使整流侧定电流调节器已无力维持 $I_d$ 不变, 就转入由逆变器定电流控制, 整流器由定 $\alpha_{min}$ 限制决定直流电压, 待交流电压正常后也将转到第一种基本控制组合方式上去。

## (二) 基本调节器的结构

电流和电压调节器均采用P—I调节, 比例积分特性兼顾动态和静态性能, 有利于调节的稳定和精度的提高。

P—I调节器的传递函数是:

$$W(S) = \frac{K_p(\tau S + 1)}{\tau S}$$

其中 $K_p$ 是比例系数,  $\tau$ 为积分时间常数。

## (三) 起停控制

为避免在起停过程中产生过电流和过电压, 对系统造成危害, 不仅整流逆变两侧控制在时序上要密切配合, 还要使两侧电流电压升降的速度协调, 本系统有以下几种起停方式:

(1) 有通讯时的正常起动和停机。(2) 通讯故障时的起动和停机。(3) 紧急停机。对于(1)、(2)两种起停方式, 为使起停过程稳定进行, 可根据系统的不同情况对起停速度在显示操作面板上预先整定。有关起停控制中一些问题再进一步说明如下。

### 1. 换流阀的解锁与闭锁

起动时控制系统收到解锁指令后, 立即送给脉冲单元模块的闭锁输入端一个高电平信号, 脉冲单元模块立即发出触发脉冲。但此时 $\alpha$ 角被限制在 $150^\circ$ , 经20ms后才解除 $\alpha = 150^\circ$ 限制, 使其按调节器输出的 $\alpha$ 值发触发脉冲。

而在停机过程的结尾, 一旦得到闭锁信号, 控制软件立即使 $\alpha$ 移相到 $150^\circ$ , 经20ms后再使脉冲单元模块的闭锁输入端变为低电平, 封锁触发脉冲的输出。

换流器各种起停方式的解锁和闭锁操作过程均按上所述方式考虑。

### 2. 起动过程控制

起动之前必须在两站之间选择主导站和功率传送方向, 然后通过通讯程序核对两站的选择是否符合对应关系, 符合后在主导站整定好电流参考值和上升速率, 然后按下起

动按钮，起动程序才会执行，否则将不予理会。

起动过程应保证逆变侧先解锁，整流侧后解锁， $\alpha$ 保持 $150^\circ$ ，20ms后整流侧开始调节， $\alpha$ 逐渐减小，直流电流增加，当电流达到0.1PU时逆变侧按照程序确定的速率升压，当直流电压达到0.5PU时，整流侧才从0.1PU开始按预先整定的速率升电流定值，同时逆变侧继续升电压，当电流、电压均达到额定值后，起动过程结束，系统进入正常运行。

停机过程是起动过程的逆过程。停机程序起动后，整流侧的调节器按预先整定好的速率将直流电流降到0.1PU然后逆变侧的调节器按照程序确定的速率降低直流电压。当电压降至某一较小值，比如0.2PU后先整流侧移相 $150^\circ$ 、20ms封脉冲，随后再通知逆变侧也执行相同的闭锁操作。

### 3. 紧急停机过程控制

紧急停机程序应作为优先级别最高的控制程序，可由保护或手动在整流逆变两侧的任一侧启动。同时屏蔽其他控制程序的执行。紧急停机在整流和逆变两侧被分别设计成不同的操作，如果在整流侧启动紧急停机，整流侧立即移相封脉冲，同时通知逆变侧也移相封脉冲或投旁通对；若在逆变侧启动紧急停机，则逆变侧直接投入旁通对同时通知整流侧移相封脉冲。在通讯故障的情况下，在某一侧启动紧急停机后执行本侧的操作，投旁通对或移相封脉冲后由对侧的低电压保护启动对侧的操作把整个系统停下来。

### 4. 自动潮流反转的控制

对舟山弱交流系统而言，不存在功率倒送的可能，为扩充软件功能，编制了潮流反转控制程序。实际上是先执行一个正常停机程序，紧接着再功率反向执行一个正常起动程序，在启动潮流反转按钮前，必须把反送功率的大小整定好，否则程序不予执行。

## 四 微机阀控系统的模拟试验情况

微机阀控系统的模拟试验于1990年2月至6月在西电公司交直流模拟系统上进行(BBC引进设备)。为对所研制的这套设备的性能进行完善和考核，试验分两个阶段进行。两次试验历时共3个多月。第一阶段试验主要验证微机阀控系统的主要功能，较为粗线条。在葛—上直流工程模型的基础上，将12脉冲双桥接线改成6脉冲单桥接线，直流侧加装了6次滤波器。历时一个多月的时间分别作了整流侧和逆变侧控制器和BBC控制器配合的起停和正常调节试验，两侧无通讯情况下的联合起停控制和正常调节试验。在第一阶段试验取得成功后，严格按照舟山系统建模，依据所拟试验大纲的要求，逐条进行了有通讯及通讯故障情况之下的起停和正常调节试验，调节器参数优化试验，调节精度和谐波测定试验，交直流系统故障试验及模拟保护动作紧急停机试验。对控制系统的性能和直流系统的运行情况均作了比较深入的研究，取得了大量的试验数据和录波波形，结果是令人满意的，所录波形与葛—上线12脉冲系统波形是一致的，为以后的科研积累了经验。

## 五 结 论

本文研制的直流输电微机控制系统，功能配置合理全面采用模块化结构，有利于系

# 集成电路式通用型反时限保护

能源部南京自动化研究所 杨仪松      合肥工业大学 姚晴林  
南京电力自动化设备厂 艾德胜

**摘要:** 本文论述一种集成电路式通用型反时限保护装置。本装置可用于发电机、电动机、变压器及线路保护。与传统的反时限保护相比,本装置有如下主要创新之处。

[1] 本装置的通用部分可以应用于各种反时限保护:诸如可应用于反时限过电流保护、反时限负序电流保护、反时限过电压保护以及反时限转子过电流保护等一切反时限保护中。通用性强是本装置的主要特点及优点之一,这对继电保护制造厂家及电力用户非常方便。

[2] 本装置的反时限回路不采用传统的“平方——积分器”式的反时限元件回路,而是采用“平方器——压频变换器——计数器”式的反时限元件回路,用计数器的加计数来模拟发电机的热积累过程,用计数器的减计数来模拟发电机的散热过程,而且还可以根据发电机的环境条件来选择散热系数。这和以往采用大电容充放电来模拟发热散热的的方法有很大的不同。本装置的反时限元件回路的精度高、可靠性强是本装置的另一特点及优点。

此外,本装置还采用了双重允通型回路,使保护的可靠性进一步提高;保护的延时回路摒弃了电容充放电式的延时方法,而采用计数器计数脉冲的方法来实现延时,从而提高了延时的精度。

本装置已通过鉴定,已批量生产,并已正式投入发电厂运行。

随着现代技术的发展,发电机的单机容量越来越大,但是其体积并不是随容量成正比地增加,这使得发电机的定子和转子的材料利用率提高,从而使发电机的热容量与铜损、铁损之比显著下降,因此其热时间常数也较小。为了防止发电机受到过流的侵害,大型同步发电机都要装设反映定子绕组和励磁绕组的平均发热状况的过流保护装置。

统扩展和完善,显示直观、操作方便,通过模拟试验控制功能和调节特性得到了验证,并可进一步提高和完善,从而把微机用于HVDC的控制,向工程实用方向推进了一步。

研制结果证实了8031单片机构成单极6脉冲换流器的阀组控制是可行的,考虑今后发展为双极更复杂系统,控制系统要划分为主控制、极控制和阀组控制三级分层控制,必需用并行高速,多微机系统来构成,直流输电控制系统研制将面临更多、更复杂的问题,我们做的研制工作、范围还很有限,不足之处,请批评指正。