

# 高精度电镀电源

陈 荣

(盐城工专电气工程系,盐城,224003)

**摘 要** 本文介绍一种电镀电源的构成方法、控制原理及为提高系统性能所采取的抗干扰措施。所构成的电源具有操作方便,控制精度高,功能齐全等优点,并已经投入实际应用。

**关键词** 电源 控制 单片机

## 引 言

随着科学技术与生产的发展,电镀工业所涉及的领域越来越宽,人们对镀层的要求也越来越高。电镀用整流器是电镀工艺的主要设备,电镀所加的电压值及电流密度值取决于各种电镀液的组成成份。一般情况下,电镀用整流器是一种低电压大电流的整流设备,输出电压在6~30V。根据镀件的多少电流容量不等,一般常用几十至几百A。目前,随着工业发展和专业化程度的提高,使用几千A乃至几万A的用户越来越多。生产中,为使镀件表面的镀层均匀平滑与致密,电镀工艺要求整流器供给高稳定度的电流,即在额定的直流电流下连续平稳地供电。工程中一般要求精度高于2.5级。目前,大部分电镀电源都是借饱和电抗器获得一定的电流稳定度,稳定精度较差,一般低于2.5级。应用户的要求我们设计了一种高精度电镀电源。

## 1 主电路结构

高精度电镀电源的输入电源为三相工频交流 $380V \pm 5\%$ ,要求输出 $6 \sim 8V_{DC}$ ,电流 $0 \sim 500A$ ,电流控制精度要求高于0.2级,且能自动启停,有故障报警,自动手动转换功能。我们设计的电流系统如图1所示。

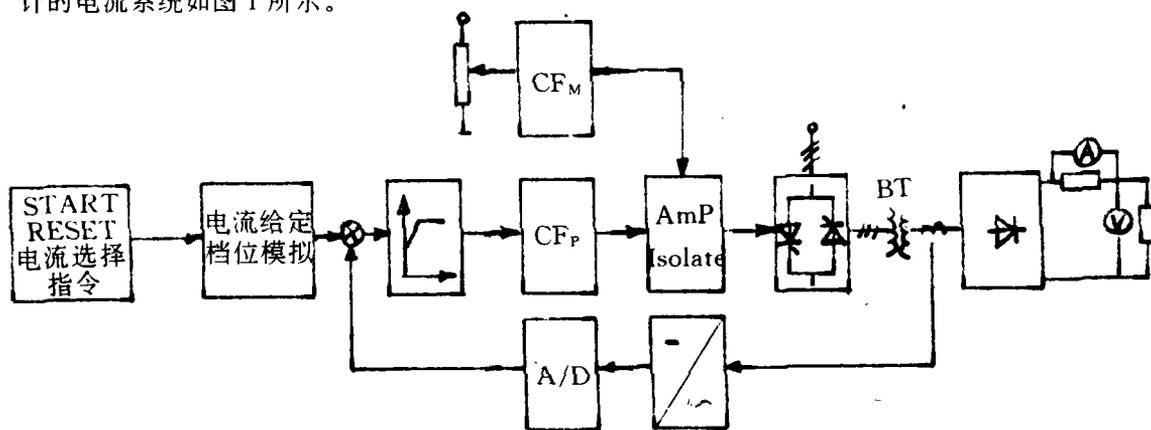


图1 电源系统框图

系统的主电路采用图2所示结构,原边为三相晶闸管调压电路,副边为带平衡电抗器的双反星形整流电路。因变压器原边为三角形连接,则导通时,每相电路必须通过另一相构成回路。

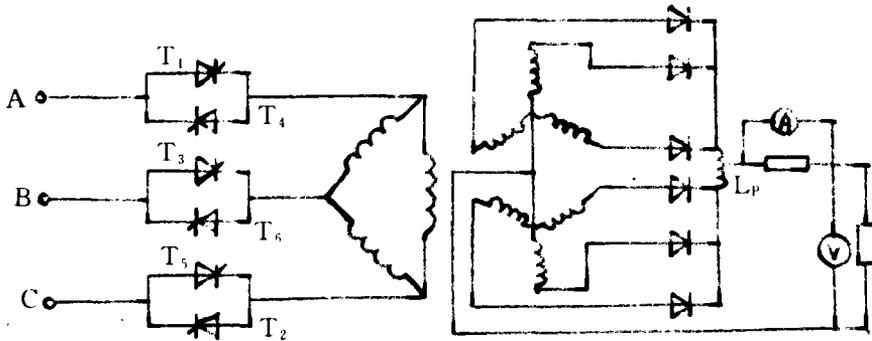


图 2 系统主电路

因此,与三相全控桥式整流电路一样,触发电路必须是双脉冲或者是宽度大于  $60^\circ$  的宽脉冲。同时,从波形分析可知,该电路对晶闸管的耐压及电压上升率的要求提高了。另外,副边整流电路在副边绕组流过 3 的倍数次谐波,它所产生的磁势可由原边三角形联接的绕组中流过的同次谐波磁势所平衡,则在输入端线电流中不含有 3 的倍数次谐波,其它各次谐波符合线电流是相电流  $\sqrt{3}$  倍的关系。故该电路线电流的有效值不遵守一般三相线性系统的关系,而有  $I_L < \sqrt{3} I_p$ ,  $I_L$ 、 $I_p$  分别为线电流及相电流有效值。从而,这种电路相对其它种类的调压电路给电网造成的污染较小。

由于主电路最大输出的电流为 5000A,则每一路二极管通过的电流有效值为:  $I_D = [(1/3)(I_d/2)^2]^{1/2} = 5000/\sqrt{12} = 1443\text{A}$ ; 二极管电流  $I_F \geq I_D/1.57 = 919\text{A}$ 。因此,主电路选 1000A 的二极管两只并联。

因主电路电流较大,为了使两只并联的二极管平均分担支路电流,防止整流元件的损坏,电路中采取了均流措施。具体方法是尽可能选用特性一致或相近的元件,依靠各支路串联的快熔电阻,并联支路的均流电感及电阻,及联接导线的电阻来实现器件的均流。均流效果的检测采用在两分支路的铜排上借分流器的原理对两分支的电流进行检测,并对两并联分支进行相应的调节。通过以上措施,所有并联分支均流效果较好,两并联分支最大相差 50A 左右(平均值),占每分支应承担电流的 12%。

由于副边电镀槽最大直流电压为 8V,考虑铜排电阻压降,接触压降 4V,线圈电阻压降 2V,二极管压降 1.5V,则令  $U_{dm} = 15.5\text{V}$ ,限制  $\alpha_{\min} = 30^\circ$  时,  $U_{dm} = 1.17 U_{2\varphi} \cos \alpha_{\min}$ ,  $U_{2\varphi} = 15.3\text{V}$  留有一定余量  $U_{2\varphi}$  取 17V。

## 2 系统控制原理

我们根据镀件的要求可对工作电流作适当选择,然后启动自动系统(参见图 1)。8031 单片机根据所选择的电流档位,模拟系统工作电流曲线,给出整个电镀过程中电镀电流的给定数值。该给定数值与主电路电流采样数值作比较,并经电流调节器调节给出一控制电压。该控制电压经过转换,转化成主电路触发角信号 2,即在适当的时刻给主电路送出脉冲信号。经脉冲功放隔离触发晶闸管,调节变压器原边输入交流电压,从而调节变压器次边电镀槽中的电镀电流。为使该系统在微机故障时也能正常工作,设置了手动工作环节。

该控制系统的控制对象为晶闸管调压电路及变压原边绕组,可以等效成两个惯性环节的

串联,按照二阶工程最佳闭环系统的设计方法,调节器应选择  $PI$  调节器,即:

$$U_{(t)} = K_p[E(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t E(t)dt]$$

离散后写成递推形式:

$$U_{(k)} = U_{(k-1)} + K_p[E(k) - E(k-1)] + K_I E(k)$$

式中,  $E(t) = P(t) - r(t)$  是偏差信号,  $K_p$  和  $K_I$  分别为比例系统和积分时间常数。

由于电镀工艺为一稳流过程,并且从启动开始到电镀槽中电流上升到稳压值(或结束时由稳态值下降到零)时,电流的变化数值较大,若采用  $PI$  调节,  $PI$  调节器势必要出现饱和,而且,若在启动后,电路中电流快速上升到稳态值(或结束时快速下降到零),势必对其它电镀槽或用电设备产生影响。为此,在启动(结束)过程中,设计控制算法为一斜坡上升或斜坡下降的函数,保证电流由零变到稳态值或由稳态值变到零的过程中持续较长时间。一般设计成 5—10s。一旦实际电流与给定电流的偏差进入设定的误差范围时,系统自动进行  $PI$  调节。

### 3 控制精度的提高

为达到所需要的控制精度,系统采取如下措施:

(1)首先是高精度采样主电路电流。为了满足控制系统的精度要求,必须准确检测电镀电流。为此,在直流输出端采用定值分流器取样,取样的信号经运算放大器放大成 0~10V 的直流电压。该直流电压经 AD574 量化,将输出直流电流转化成 12 位二进制数,则主电路电流经采样转换量化后,一个字对应电流 1.22A。

(2)系统的运算调节采用双字节整数进行运算。

(3)组成高分辨率的数字触发器。为了提高控制系统的控制精度,准确调节触发角,定时器 8253 采用方式零工作,对  $\alpha$  进行控制。若计数脉冲频率为 1MHz 时,控制角分辨率  $\psi = (360^\circ / 0.02) \times 1 \times 10^{-6} = 0.018^\circ$ ,其最大定时角  $\alpha_{\min} = 0.018 \times 2^{16} = 1179.6^\circ$ 。远大于移相范围,完全满足控制要求。

(4)控制算法及改进。为了保证控制系统的控制精度,采用  $PI$  调节器在静态时,只要合适选取积分系统,即可使控制偏差趋于零。但是系统存在扰动时,有时会使实际电流较大地偏移给定电流数值,这样有可能出现比例部分饱和现象而减慢动态过程,为保证实际电流快速跟随给定电流,其比例系统可取较大数值。且当  $\Delta U_i$  超过  $\Delta U_{\min}$  时,将超出部分积累起来,待一旦退出饱和,再立即输出这些积累量,进行补偿,从而加快系统的动态过程( $\Delta U_i$  为输出变化量)。

### 4 数字触发

主电路为 3 对反并联晶闸管接成的三相三线交流调压电路(参见图 2)。晶闸管的触发应采用宽脉冲或双管脉冲触发,为了减小脉冲变压器的体积,我们在该系统中采用的是宽度大于  $60^\circ$  的脉冲列触发。

与三相桥式整流电路不同,控制角  $\alpha = 0^\circ$  为相应电压正半周过零点。所以,触发电路的同步信号即为该相相电压。然而,经同步变压器输出的同步电压信号一般都要经过滤波电路,以滤除电网引入的脉冲及谐波干扰。为此,同步变压器须保证副边电压超前对应相电压一定角度,以补偿由于加设滤波电路引起的相移。

为构成数字触发器,电流电压经三相同步变压器及滤波器得到三相同步电压,使其过零点对应于相电压的零点。各相同步电压经零检测电路,得到脉宽为  $180^\circ$  的方波电压。各相方波电压经反相与原三相方波电压构成 6 路相差  $60^\circ$ , 宽度为  $180^\circ$  的方波电压。这 6 路信号再与一固定高频脉冲相与后形成 6 路相差  $60^\circ$  宽度为  $180^\circ$  的脉冲列。为固定高频脉冲由 8031 的  $ALE$  及  $\overline{WR}, \overline{RD}$  经适当逻辑处理后得到(参见图 3)。

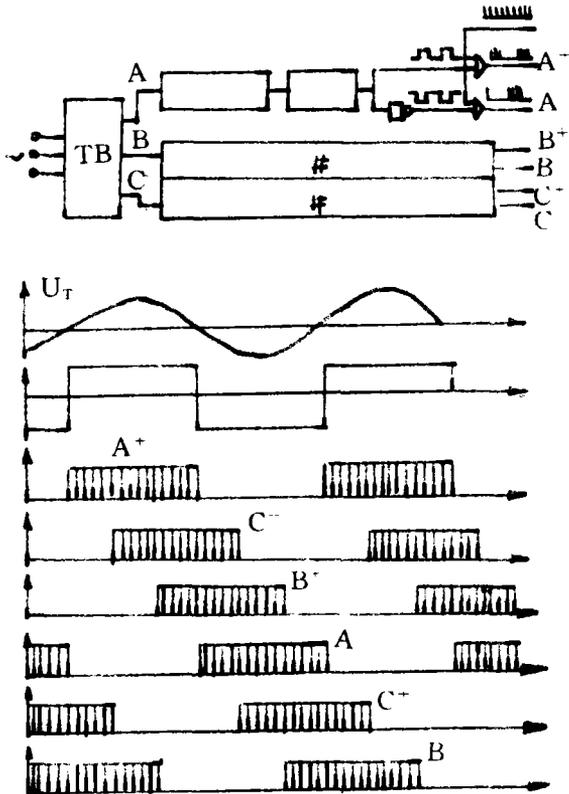


图 3 计数触发硬件构成

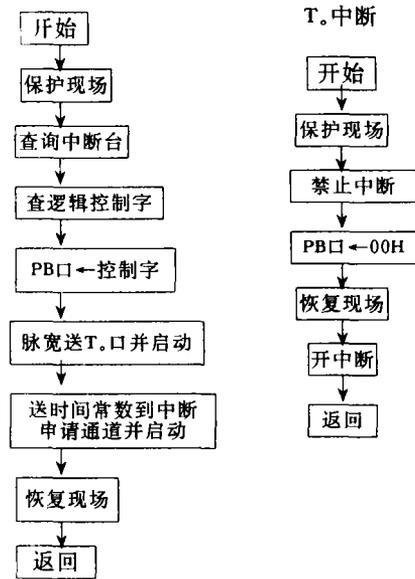


图 4 计数触发程序框图

输出的 6 路脉冲列分别送至两片 8253 的 6 个 CLK 脚, 作为 6 个计数器的计数脉冲。6 个计数器计数溢出中断时, 分别触发 1、2、3、4、5、6、1 晶闸管。由 8253 的 PB 口输出逻辑控制字: 03H、06H、00H、18H、30H、21H, 作为输出脉冲的上升沿。此后, 再由软件启动脉宽定时器, 以确定脉冲宽度, 定时器中断时送 PB 口 00H 作为脉冲下降沿。

触发时, 其中断服务子程序如图 4 所示。程序中查询中断位是借助于 8031 的 PI 口状态量决定申请中断的通道, 由此判断该向那一组 SCR 送脉冲。

在单片机控制系统中, 由调节器输出的控制信号结合相电压过零点信号及  $P_1$  口的状态信号, 决定紧接着要送脉冲的那一组 SCR 的触发角, 并把触发角转化成时间常数, 送到 8253 的一只计数器中并启动。计数器计数溢出后向 CPU 申请中断。8031 响应中断在 PIO 口送出逻辑控制字, 同时给  $T_0$  (或  $T_1$ ) 送出脉宽时间常数(对应电角度大于  $60^\circ$ )并启动之。在  $T_0$  (或  $T_1$ ) 定时过程中, PIO 送出的逻辑控制字一直保持不变。待  $T_0$  定时结束申请中断, 8031 响应中断, 在 PIO 口送出逻辑控制字 00H, 作为脉冲的下降沿。这样在将要导通的 SCR 的触发电路中就送出一个大于  $60^\circ$  的脉冲信号, 该脉冲信号经调制电路变换成大于  $60^\circ$  的脉冲列信号, 再经过

脉冲变压器送至 SCR 的门极。

## 5 抗干扰措施

为了提高系统运行的可靠性,在该电源中采取了以下抗干扰措施。

硬件方面:控制电源变压器采用有静电屏蔽的变压器,并且在电源输入端设有两级 LC 滤波网络。为防止计算机系统前后级间的影响,在每一片集成块的电源和地之间并联一只 0.47  $\mu\text{F}$  的电容,以吸收集成电路工作时产生的脉冲干扰。系统的控制部分置于接地良好的金属箱体内部,这样可以防止空间的电磁脉冲对系统的影响。

软件方面:对电流的采样采用中值滤波法,即:连续四次采样,去除最大值及最小值,取两次中间值的平均值作为微机采样的真实数值。触发方式采用的是由两只 8253 构成的计数触发方式,使用该触发方式可以克服外来干扰脉冲引起的误触发。当有干扰脉冲时,仅影响  $\alpha$  值,因此抗干扰能力特别强。

另外,还设置了软件定时监视器,其目的是防止程序因干扰而进入非程序区,造成系统运行不正常。只要程序运行时间超过设定时间,定时监视器申请中断,使系统进入初始状态。

从该系统投运近半年的运行实践表明,系统工作正常,抗干扰能力强,控制精度高,为  $\pm 3$  个字,对应于主电路电流为  $\pm 3.66\text{A}$ ,大大高于 0.2 级。系统能够自动启停,且有过流、断流、缺相故障报警功能,受到用户单位的欢迎,目前已经投入小批量生产。

### 参考文献

- 1 电镀原理及工艺. 覃奇贤等编著. 天津科技出版社. 1993. 10
- 2 单片机应用系统设计. 何立民编著. 北京航空航天大学出版社. 1990. 1

(上接第 10 页)

### 参考文献

- 1 P. W. McMillan, Glass-Ceramics, London, Academic Press, 1964
- 2 泉谷彻郎. 新しむかうとその物性. 东京, 经营ミステム研究所. 1984
- 3 G. Partridge and S. V. Phillips, A review of transparency in glass-ceramics, Glass Tech., 1991, 32(3): 82~90
- 4 G. Partridge, Nucleation and crystallisation phenomena in low expansion  $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  glass-ceramics, Glass Tech., 1982, 23(3): 133~138
- 5 G. H. Beall, Design of glass-ceramics, Reviews of solids Science, 1989, 3(3,4): 333~354
- 6 Yen-Yan Hsu and Robert F. Speyer, Comparison of the effects of titania and tantalum oxide nucleating agents on the crystallization of  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$  glasses, J. Am. Ceram. Soc. 1989, 72(12): 2334~2341
- 7 Jen-Yan Hsu and Robert F. Speyer, Influences of zirconia and silicon nucleating agents on the devitrification of  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$  glasses, J. Am. Ceram., 1990, 73(12): 3585~3593
- 8 John M. Jewell et al, Effect of heat-treatment temperature on the properties of a lithium aluminosilicate glass, J. Am. Ceram. Soc, 1991, 74(1): 92~97