

# UC3902 在晶闸管中频电源并联运行中的应用

傅 清

(西安电力电子技术研究所, 陕西 西安 710061)

**摘要:** 晶闸管中频电源并联运行时控制方案很多, 如输出阻抗法的均流精度太低; 主从设置法和平均电流法都无法实现冗余技术, 并使电源并联运行时的可靠性得不到很好的保证。而自主均流法具有均流精度高, 动态响应好, 可以实现冗余技术。UC 公司开发的集成芯片 UC3902 属于自主均流法专用芯片。电流最大的电源单元被自主确定为主电源单元, 主电源单元驱使均流母线电压与它的输出电流成正比例。从电源单元以均流母线电压为基准, 达到每个电源单元均分电流的目的。利用集成芯片 UC3902 经过在两台 500 kW 中频电源并联运行时所做试验, 取得很好效果, 均流精度高, 设备运行稳定, 电源效率高, 达到了节能省电的目的。

**关键词:** 晶闸管中频电源; 并联运行; 均流技术; 芯片 UC3902

中图分类号: TN349

文献标志码: B

文章编号: 1002-1639(2009) 04-0054-04

## The Application of UC3902 Medium Frequency Power Supply for Parallel Connection in Thyristor

FU Qing

随着生产的需求, 晶闸管中频电源正在不断地向大功率方向发展。容量较大的电源, 可采用多台电源并联运行的方式来提高电源的容量, 其优点是单台容量较小、可靠性高、均流均压问题较易解决。当单台设备发生故障时, 可立即退出运行, 其他单台电源仍可并联继续工作, 这样有利于产品系列化组合、维护检修和生产。通过电源变压器多副边绕组的不同接线方式组成多台多相输入, 相当于提高晶闸管中频电源的整流脉波数, 降低谐波对电网的干扰, 提高进线功率因数, 有助于提高设备的效率。

### 1 晶闸管中频电源并联运行的条件

- (1) 各单台电源均为独立单元, 均有整流和逆变的功能。
- (2) 逆变输出端均可在负载上并联, 即各单机中频输出电压的幅值频率和相位均相同。
- (3) 当输入电压或者负载发生变化时, 控制各单元电源的输出电流, 实现负载电流平均分配。
- (4) 两台单机并联运行时的结构图如图 1 所示。

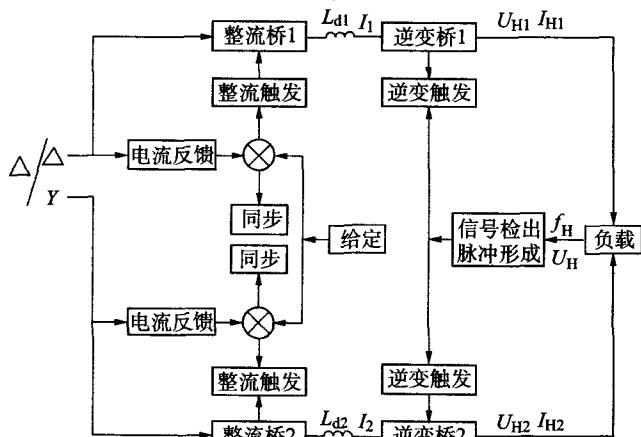


图 1 两台单机并联运行时的结构图

### 2 并联电源台间均流问题

为减少谐波对电网的干扰, 主变压器的副边采用不同接法绕组增加输入相数, 例如副边采用三角形接法与星形接法, 其副边绕组匝数为 $\sqrt{3}$ 倍, 由于不是整数倍在工艺上很难实现, 产生三角形绕组与星形绕组电压不相等现象, 造成单台电源输入电压有误差。主要原因如下:

- (1) 由于单台电源之间的平波电抗器、进线电感、换相电感、晶闸管元件等参数的误差产生单台电源之间的内阻不同。
- (2) 控制回路方面, 由于设计的均流电路和方法不同, 以及电流和电压取样电路的误差, 易造成电台电源之间电流不均。

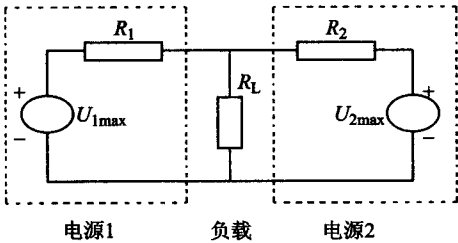
因此, 多台电源并联运行时会产生台间电流分配不均现象。

如果两台电源的参数完全相同, 即 $U_{1max} = U_{2max}$ ,  $R_1 = R_2$ , 两条外特性曲线重合, 负载电流均匀分配。如果其中一台电源的电压高, 输出电阻小, 如图 2 中的电源 (1), 则该电源承受大部分负载电流。外特性的差异是电流难以均分的根源。均流性能优劣用均流精度 $C_e$ 衡量, 其定义为

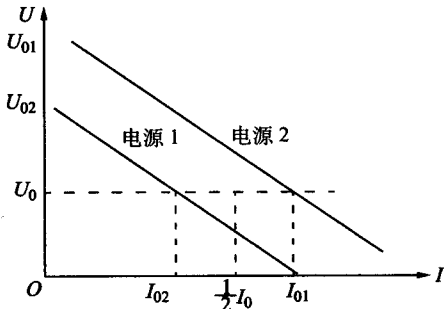
$$C_e = \Delta I_{omax} / (I_o N^{-1})$$

式中:  $N$ 为并联电源台数;  $I_o$ 为负载电流,  $A$ ;  $\Delta I_{omax}$ 为最大电流与最小电流之差,  $A$ 。

正常情况下, 各单台电源输出电阻是个恒值, 输出电流不平衡主要是由于各单台电源输出电压不相等引起, 均流实质是通过均流控制电路调整各单台电源输出电压,



(a) 两台电源并联工作时的等效电路



(b) 输出外特性曲线

图 2 两台电源并联工作时的等效电路及其外特性曲线

从而调整输出电流以达到电流均分的目的。均流的基本思想是采样各自输出电流信号，将该信号引入控制回路中，来参与调整输出电压，选择不同的电流信号注入点，不同的电路控制方式可形成多种均流方案以满足不同的

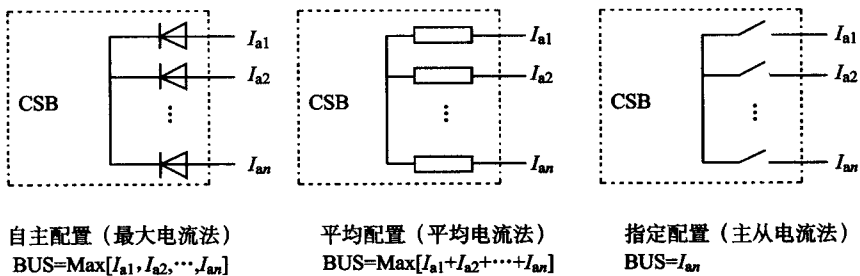


图 3 三种均流母线连接方式

自主配置中，各电源电流信号和公共母线之间通过二极管连接，只有具备最大电流信号的电源单元对应的二极管才能导通。均流母线上代表最大电流信号，属于最大电流法控制。平均配置中，各个电源单元和公共母线之间通过参数完全一致的电阻连接。只有人为指定的电源单元连接均流母线成为主电源单元，属于主从法控制。

采用主从均流法，精度高，控制结构简单，缺点是一旦指定的主电源单元出现故障，整个系统停止运行。宽带电压回路易产生噪声干扰，使用中主从电源单元连线应尽量短。采用平均电流法可实现精确均流，缺点是当某个电源单元不工作时公共母线电压下降，将促使每个电源单元电压下降，解决的办法是自动把故障电源单元

稳态性能和动态响应。

### 3 并联运行的电源常用均流方法

根据并联电源控制线路之间有无传递均流信号的互连线，均流方法可归两大类：下垂法和有源均流法。下垂法为电源之间只有输出端导线相连；有源均流法除了电源的输出导线相连外在控制上还均流母线把各电源连在一起。

下垂法（又叫斜率法或输出阻抗法）是最简单的一种均流方法，其实质是利用电源电流反馈信号或者直接输出串联电阻，改变电源的输出电阻，使外特性的斜率趋于一致达到均流。下垂法均流的特点是：电源之间无互连通讯线，实为开环控制，下垂法以降低电压调整率为代价获得均流。该方法应用在均流精度不高的场合，尤其对于不同的额定功率的并联电源，难以实现均流。

有源均流法的特征是采用互连通信线连接所有的并联电源，用于提供共同的电流参考信号。按照不同的母线连接方式形成各类有源均流法，如主从法、平均电流法、最大电流法等。均流母线连接方式指如何从所有的电源单元中取得公共电流参考信号，表明了电源之间的主从关系。如图 3 所示给出了三种均流母线的连接方式：自主配置（最大电流法），平均配置（平均电流法），指定配置（主从电流法）。

从公共母线上切除。采用最大电流法其特点是：①这种均流方法一次只有一个单元参与调节工作，主电源单元永远存在且是随机的，为实现冗余最常用的方法。②二极管存在正向压降，因此主电源单元均流有误差。③主电源单元的身份不断交替，谁大谁为主电源单元。各电源单元输出电流存在低频振荡。Unitrode IC 公司开发均流控制芯片 UC3902 正是基于最大电流自动均流的思想，最大限度发挥各电源单元的输出能力（额定范围内），提高电源运行效率简化了电源并联运行时的设计与调试，得到广泛应用。

### 4 均流电路 UC3902 简介

UC3902 内部框图如图 4 所示。

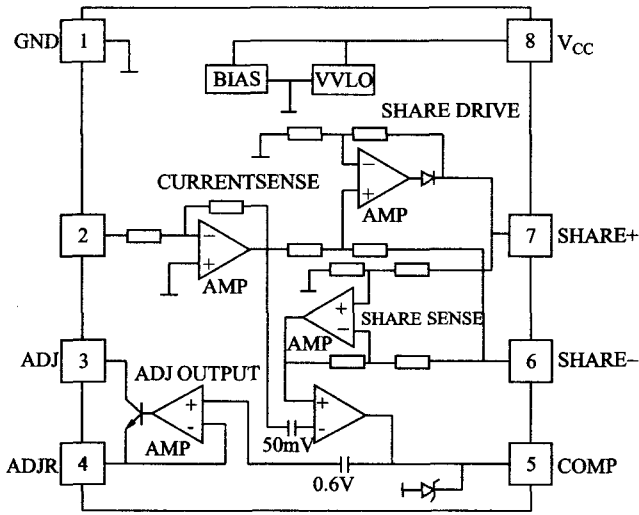


图 4 UC3902 内部框图

(1) 检测电流放大器 (Current Sense Amplifier)。检测电流放大器，增益为 40，其输出与电源单元的输出电流成正比。且作为输入信号提供给均流驱动放大器的正向输入端和误差放大器的反向输入端。

(2) 均流驱动和均流检测放大器 (Sharedriver and Sense amplifier)。均流驱动放大器 (为单位增益) 检测差模均流母线上的电压，并把输出信号作为误差放大器的正向输入端。均流检测放大器的输出电压与主电源单元的输出电源相对应，也就是和均流母线上电压相对应。

(3) 一个跨导式误差放大器 (GM Amplifier)。跨导式放大器把反馈网络连接在误差放大器的输出与地线之间，把电流信号的可靠性放在误差放大器的反向输入端，提高了放大器输出电流的可靠性。同时，跨导式放大器需要一高的输入与输出阻抗，用电流源输出阻抗代替电压源输出阻抗，相应的跨导被定义为  $A/V$ ，乘以带有补偿网络阻抗的跨导  $GM$ ，就转化为  $V/V$ 。误差放大器稳态输入电压是电流检测器的输出与均流检测放大器输出的电压差的函数，当该电源单元工作在主电源单元状态时，电压差为零，为确保误差放大器的正确的工作状态，有  $50\text{ mV}$  的偏置串联在它的反向输入端，增加主从电源单元之间转换裕度。同时确保其工作在主电源单元状态时的误差放大器输出为零。但工作在从电源单元时产生非零的误差电压，这一非零误差电压是与各个从电源单元电流检测放大器的输出与均流母线电位之差成比例的。误差放大器的输出电压是用来调整电源单元的输出电压，以平衡所有并联运行电源单元的负载电流，这是通过一调整放大器和缓冲三极管 NPN 来实现的，调整放大器输出的误差信号去驱动 NPN 三极管，一个电阻连接在三极管的发射极和地，误差信号定义为  $I_{ADJ}$ ，它流经 ADJ 管脚和电阻 RADJ。通过  $I_{ADJ}$  改变 RADJ 上的电压来调节，电源单元的输出电压，从而实现电源间的电流。

(4) 缓冲调整放大器 (ADJ Output Amplifier)。

(5) 辅助工作电路，用以提供内部偏置和芯片内部的参考。

## 5 UC3902 外围电路的设计

芯片 UC3902 外围电路图如图 5 所示。电源额定电流  $I_0$  经电流变送器在电阻  $R_{SENSE}$  上产生  $0.25\text{ V}$  电压，进入 SENSE 脚，因电流检测放大器增益为 40，所以，电流检测放大器输出电压  $40 \times 0.25 = 10\text{ V}$ ，在芯片供电电源电压  $15\text{ V}$  以内不会饱和。

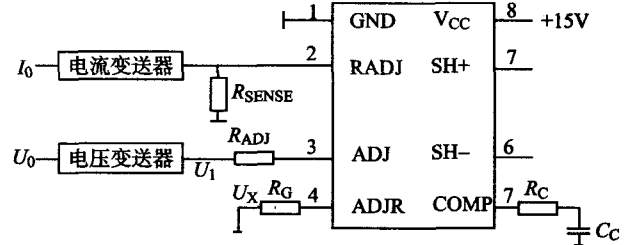


图 5 芯片 UC3902 外围电路图

电源额定电压  $U_0$  经电压变送器输出  $10\text{ V}$  电压，根据芯片提供资料 and 实际调试经验，由参数值  $R_G = 2.6\text{ V}/5\text{ mA} \approx 520\text{ }\Omega$ ，实际选用  $510\text{ }\Omega$ 。

$$R_{ADJ} = \Delta U_1 / 5\text{ mA} = 10\text{ V} / 5\text{ mA} = 2\text{ k}\Omega \quad \Delta U_1 = 10\text{ V} - 0\text{ V} = 10\text{ V}$$

滤波  $R_c \approx 200\text{ }\Omega \quad C_c \approx 10\text{ }\mu\text{F}$

图 6 为芯片 UC3902 在两台电源并联运行时均流的原理图。

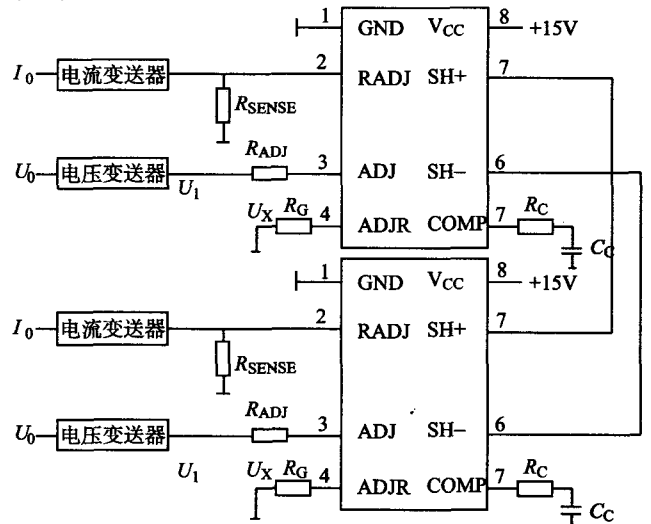


图 6 芯片 UC3902 在两台电源并联运行时均流的原理图

图 7 为两台电源并联运行时的均流框图。

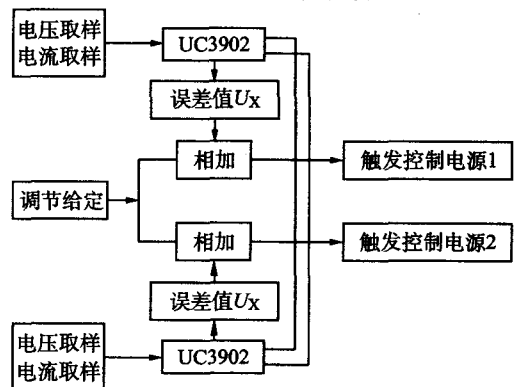


图 7 两台电源并联运行时的均流框图

## 6 并联实验结果

实际应用中对两台 500kW 的晶闸管中频电源做并联实验。

已知: 500 kW 中频电源参数输入电压 3 相 380 V, 额定直流电压 500 V, 额定直流电流 1 000 A, 中频电压 750 V, 频率 1 000 Hz。并联实验测量结果如表 1 所示。

表 1 两台 500 kW 的晶闸管中频电源并联运行实验测量结果

$I_{01}/A$	$I_{02}/A$	$I/A$	$I/A$	$I/A$	精度/%
121	128	249	124.5	7	5.6
250	262	512	256	12	4.7
334	348	682	341	14	4.1
460	475	935	467.5	15	3.2
565	548	1 113	556.5	17	3.0
628	645	1 273	636.5	17	2.7
750	765	1 515	757.5	15	2.0
865	880	1 745	872.5	15	1.7
990	1 000	1 990	995	10	1.0

表 1 中,  $I_{01}$  为电源 1 的电流,  $I_{02}$  为电源 2 的电流。

$$I_T(A) = I_{01} + I_{02}$$

$$I_A(A) = (I_{01} + I_{02})/2$$

$$I_E = I_{0max} - I_{0min}$$

$$C_e = (I_E/I_A) \times 100\%$$

## 7 结论

均流芯片 UC3902 均流精度, 尤其两台电源并联运行时, 输出电流越接近额定值, 精度越高。外围电路设计简洁, 运行可靠平稳, 由于采用最大电流法控制两台电源并联运行, 比其他方法效率提高近 7.5%, 运行时间缩短 8%, 节电 8.5%。

### 参考文献:

- [1] 林渭勋. 可控硅整流电源 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.
- [2] 潘天明. 现代感应加热装置 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996.

(上接第 53 页)

## 2 均热炉改造的供热方式选择

本系统针对上述燃料热利用率分析情况, 在改造时采用空气单蓄热, 利用剩余部分的烟气再预热煤气进一步回收热量的方案。

蓄热体选用密度  $> 3\ 000\ \text{kg/m}^3$  的蓄热小球, 采用较短的换向时间, 换向周期 50 s, 确保获得较高的空气预热温度, 减小空气预热温度的波动。

设计上采用较高的空气出口动能, 加大炉气的循环搅动。

同时在排烟系统上考虑将经蓄热体后的排烟风机排出约 200 °C 的烟气与均热炉排烟口直接排出的高温烟气混合, 在混合后的烟道上设置高效煤气预热器, 将煤气预热至 350 °C。

供热系统如图 1 所示。

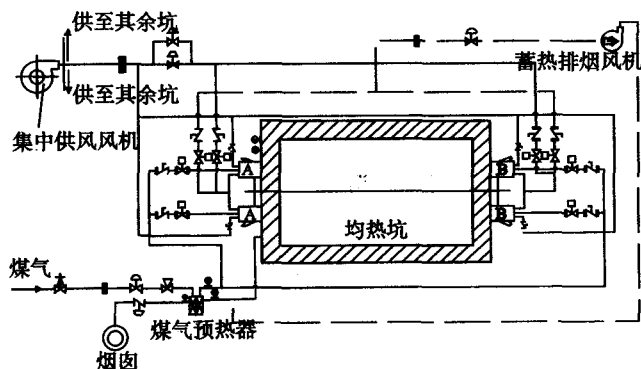


图 1 供热系统图

## 3 实施运行情况

本次改造共实施 4 组均热炉 (12 坑), 剩余 2 组 (6

坑) 未改造, 系统投运后, 对比两种情况进行实时的数据收集。

目前整个系统运行 1 年以上, 受改造后蓄热烧嘴的交替燃烧, 炉气的强烈扰动, 炉温均匀性明显优于改造前。

在停炉检修期间, 对烧嘴蓄热箱开箱检查, 蓄热球的黏结和堵塞现象没有出现。但投运前几个月, 换向阀的卡死、阀门的开关到位信号不准确等在系统运行中偶有发生, 经过设备的改进该问题已经得到解决。

同时均热炉的空间相对较小, 换向造成炉压波动也是系统上需要注意的问题, 在本系统控制程序的调试运行中, 针对该问题作了许多特殊处理, 目前炉压控制良好, 炉压波动能够控制在 +15 Pa 以内, 系统运行稳定。

经过系统对比运行比较, 该系统投运后的实际燃料节约率在 15% 左右, 节能效果显著, 达到预期效果。

## 4 结论

蓄热燃烧技术作为一项节能降耗技术, 也有其相应的应用范围, 在周期性的均热炉上合理应用, 能够取得较好的节能效果。

该项目的成功投运并取得显著的节能效果, 对于周期性的其他室式炉的节能改造具有指导意义。

### 参考文献:

- [1] 孙国宏. 浅谈蓄热式燃烧技术及其发展前景 [J]. 中国科技信息, 2005 (18): 43.
- [2] 朱 彤, 苏正川, 饶文涛. 高温空气燃烧技术改造均热炉方案研究 [J]. 同济大学学报, 2004, 32 (8): 1033-1037.
- [3] 钢铁厂工业炉设计参考资料编写组. 钢铁厂工业炉设计参考资料 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1977: 322-330.
- [4] 陈鸿复. 冶金炉热工与构造 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999: 31-45.