

基于三相全控桥的 24 脉波整流电路应用研究

葛笑寒

(三门峡职业技术学院,河南三门峡 472000)

【摘要】文章介绍了大容量铜电解系统的控制方案,对变压器和整流机组的接线方案进行选择,利用整流变压器一次绕组为延边三角形接线并且移相,整流阀侧采用三相全控桥式电路的非同相逆并联,且角型接于整流变压器的二次绕组,并对设备的参数进行选取,两组系统并联形成了 24 相整流,最后对机组 PLC 控制系统和稳流控制系统进行了设计。该方案提升了输出电压,减小了谐波,增大了系统容量,效率更高。

【关键词】三相全控桥;整流;非同相逆并联;铜电解

【doi:10.3969/j.issn.2095-7661.2019.01.005】

【中图分类号】TM461

【文献标识码】A

【文章编号】2095-7661(2019)01-0013-03

Application of 24-pulse rectifier circuit based on three-phase fully controlled bridge

GE Xiao-han

(Sanmenxia Polytechnic, Sanmenxia, Henan, China 472000)

Abstract: This paper introduces the control scheme of the large-capacity copper electrolysis system, and selects the wiring scheme of the transformer and rectifier unit. The rectifier transformer is used as the extension triangle wiring and phase shifting. The rectifier valve side adopts the three-phase fully controlled bridge circuit. The phase is reversed parallel. And the angle is connected to the secondary winding of the rectifier transformer, and the parameters of the inter-device are selected. The two groups of systems form 24 phase rectifiers in parallel. Finally, the PLC control system and the steady flow control of the unit are designed. The scheme improves the output voltage, reduces the harmonic, increases the system capacity, and is more efficient.

Keywords: three-phase fully controlled bridge; rectifying; non-identical inverse parallel; copper electrolysis

在铜电解车间,需要把交流电转换成稳定、大容量、大电流的直流电。目前较常用大功率二极管和晶闸管两种整流机组^[1]。晶闸管系统能够灵活实现无极调压,能通过大电流、同时具有较高的精确度和响应速度,故而得到了广泛应用。晶闸管整流系统主要以三相桥式整流和带平衡电抗器的双反星型整流为基础,构成 12 或者 24、48 脉波的大型整流系统,但随之带了谐波污染。减小谐波的方法主要有电力滤波器、感应滤波技术和多重化整流技术三种,而在电解领域较多采用并联多重化整流降低谐波畸变率^[2];双反星型联结的整流器在小容量、低电压系统中使用,具有较高的性价比;整流变压器二次绕组采用星型联结,减小了谐波^[3];该种电路主要采用同向逆并联提高

元件的电流均衡,减小损耗^[4]。在电流的稳态控制方面,使用 PI 或者 PID 算法对控制角进行控制,实现对电流的跟踪^[5];随着工业的发展,基于现场总线的综合自动化控制系统成为主流^[6]。但是,随着技术的进步,电解的容量越来越大。因此考虑采用三相桥式整流以提高输出电压。本文针对大容量高电压整流系统,使用三相桥式非同期并联拓扑结构,介绍了变压器的接线方案,整流机组的结构、稳流控制及考虑高速以太网的现代化智能控制系统。

1 铜电解整流系统条件

厂区 10kV 电源通过整流装置转为 330V 直流电,电解工作电流范围为 30-40kA,系统正常工作时为 33kA。工艺要求整流机组输出电流应使系统有最

【收稿日期】 2018-11-12

【作者简介】 葛笑寒(1983-),男,河南三门峡人,三门峡职业技术学院教师,硕士,研究方向:电气自动化控制、电力电子。

【基金项目】 2017 年度三门峡职业技术学院科技服务课题“基于分布式电源供电的电动汽车充电装置研究”(课题编号:SZY-2017-042)。

优的电解效率,电解电流应采取自动稳流控制,稳流精度要求不大于 2%。输出电压应能够实现 0-100% 连续可调,单槽电压 0.30~0.40V。

2 电解整流系统方案

电解电源系统由 2 套整流机组构成,分别位于电解车间单母线不分段的 10kV 母线上。如图 1 所示,每套机组经过延边三角形联结方式的变压器移相后,二次侧出线连接于整流桥上,形成等效 12 脉波整流。两组整流系统则构成了 24 脉波整流系统。后期扩展需要,预留两路电源,可以形成 48 脉波整流电路。两套硅整流能够保证电解生产过程中供电的持续性。当一台硅整流需要检修时,用另一台硅整流带动所有电解槽,避免电解槽完全断电后电解槽中阴极铜的返溶。

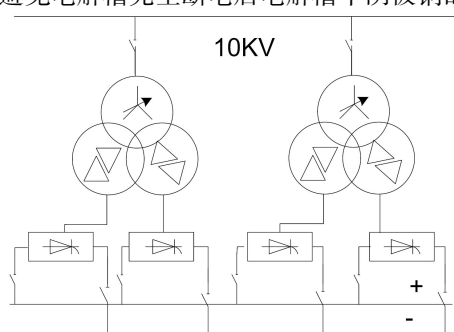


图 1 24 相整流系统结构图

2.1 调压变压器接线方案

系统采用单器身调压变压器,调压变压器采用自藕升压接线方式,有载调压开关有足够的裕量,可以保障大电流通。系统自藕变压器带 27 级有载开关调压,级间电压均分,能实现输出电压粗调。整流变压器一次绕组为延边三角形接线,2 台变压器移相角分别为 $(+3.75^\circ, -26.25^\circ)$ 、 $(-11.25^\circ, +18.75^\circ)$;后期 2 台移相角分别为 $(-3.75^\circ, +26.25^\circ)$ 、 $(+11.25^\circ, -18.75^\circ)$;移相变压器二次绕组均为正反角接。这样构成单机组等效 12 脉波整流。变压器顶部进线,阀侧端子由大面一侧三排四列引出,整流变压器一、二次侧均采用三角形接线可以有效消除三次谐波。

大功率设备中,变压器与整流桥的连接主要有同相逆并联和非同相逆并联两种。前者是将同一相的整流元件分成两个并联支路,支路的引线相邻布置^[7]。如图 2 所示,流过支路的电流在每瞬间都是大小相等方向相反的,两个支路的空间距离尽可能小以显出磁场的抵消作用,但是带来容易短路的问题,另外柜体复杂成本增加。目前,制造设备厂家多采用非同相逆并联结构出线。如图 3 所示,整流变压器的出线侧单桥连接,最后在母线端并联汇入直流母线。该接法使得整流变出现侧的阀体成轴线对称分布,降低了进线电抗和损耗。

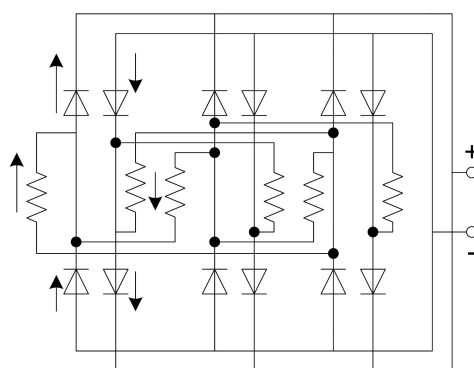


图 2 三角形接线时的同相逆并联结构图

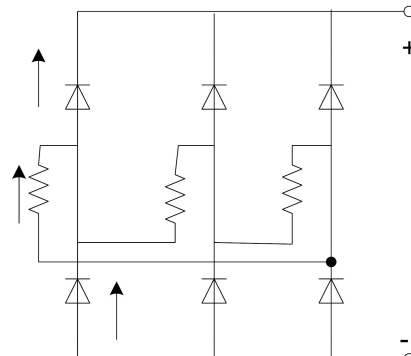


图 3 三角形接线时的非同相逆并联结构图

本系统选用的变压器型号为 ZHSSPT-11600/10, 变压器选用优质无氧铜导线,采用加强型绝缘,高压线圈采用全纠结和部分纠结相结合的绕制方式,以改善端部冲击电势梯度。线圈全部采用内外成型撑条,保证线圈的抗冲击强度。有载开关设就地与远方控制,带远距离档位指示并附微机接口。整流变压器和桥路使用非同相逆并联接线。整流柜内部只有直流母线,短路的可能性较大降低,安全性明显改善。整流装置直接安装在整流变压器的侧面,整流变压器与整流柜为靠拢式安装结构,整流器交流电源从整流柜后部上中下进线,整流出线为柜上部分引出。整流变压器阀侧出线与整流柜进线实现最短距离的直排对接,既降低了投资又减少了设备的损耗。

2.2 整流机组接线方案

整流所配置 2 套晶闸管整流机组,每个机组由 1 套晶闸管整流器(330V, 30kA)和 1 台有载调压整流变压器组成。每个机组为 12 相整流系统,考虑到整流系统谐波对供电电网的影响,2 个系列通过整流变压器间的相位变化,在 10kV 电网上并联,形成等效 24 相整流系统,以达到降低谐波的目的。

整流变压器一次侧采用 2 组延边三角形接线绕组,移相角差 30° ^[8]。这种方式的优点是具有 3 次谐波电流的通路,致使感应电压波形为正弦波,从而有效提高绕组的绝缘强度,因其移相而增加的等效容量相对值最小,另外角形接线也可消除激磁不平衡现象。三相全控桥式整流电路可以提高输出电压,但是

输出电流不及双反星型电路,实际使用时需要考虑并联均流问题。如图 4 所示,整流变压器全部采用三角形接法,整流主电路采用三相全控直流电路,采用桥臂晶闸管并联的方案,降低了单个晶闸管的电流,但整个电路的输出电流显著提高。系统每套整流机组采用 48 只 4 英寸晶闸管,每臂 4 只元件并联,共 48 只元件组成,每臂的晶闸管均分电流,降低单管载流量,又保障了系统的大电流负载。

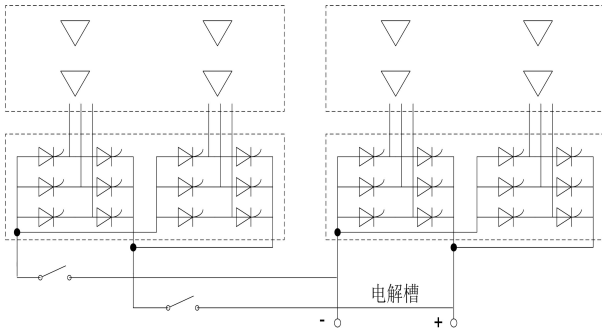


图 4 整流机组的拓扑结构图

3 整流装置控制系统

控制柜主要由机组 PLC 监控系统和稳流控制系统两部分组成^[9]。每台整流机组配置一台控制柜,与整

流柜一并就地安装。

3.1 机组 PLC 控制系统

控制系统的结构如图 5 所示,PLC200 实现信号的采集,主要对过流、过载、水压、同步电源和报警灯信号的采集;触发板采用全数字软件调节,以主从控制方式满足 12 相整流柜可靠控制的要求。系统采用双通道的数字调节器和数字触发器,通过 CAN 总线连接后互为在线热备用。使用 TD200 文本显示监控触发板的运行状态,通过 RS485 总线和触发系统通信,同时和西门子 PLC 的 port0 口连接;上位机采用西门子 10 寸屏和 PLC200 通过 RS485 总线通信,实时显示主接线图、机组运行实时数据、整流机组直流输出电流及电压趋势图、整流机组工作状况操作界面、整流机组电流给定调节操作界面、整流机组中有载开关升降操作界面、整流系统故障报警及实时故障表、历史纪录表等;微机监控系统 PC 机放在远程控制室,通过光纤交换机转换后和通信模块 CP243-1 实现以太网通信。实现 PC 机对 2 套整流变压器及其有载开关、整流装置、纯水冷却器、直流刀开关、直流电流电压测量等进行集中监测和控制。

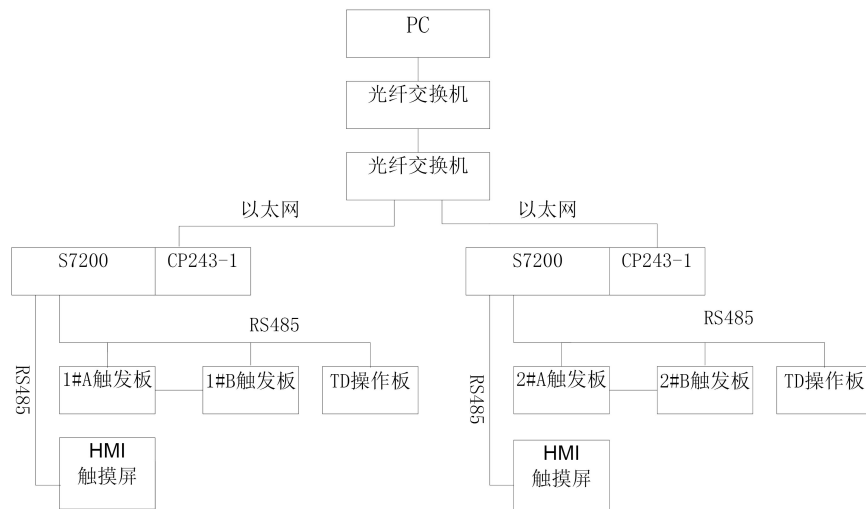


图 5 机组 PLC 控制系统网络结构图

3.2 稳流控制系统

该系统采用有载调压变压器 27 极分接头实现粗略调压和晶闸管相位控制精细调压相融合的方式。如图 6 所示,每套控制系统都采用电流负反馈的闭环控制调节方式,输出电流的快速变化均通过电流互感器返回输入端,和给定电流控制信号比较,通过电流调节器内部的 PID 运算,改变触发脉冲的移相角,从而改变输出电流的大小^[10]。实现自动稳流的目的,控制系统稳流精度优于 $\pm 0.2\%$ 。若电流反馈信号丢失时,稳流控制系统自动转入开环,发出指示并向后台 PC 机发出反馈信号掉线故障保护。

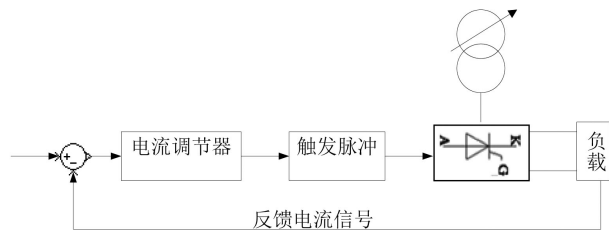


图 6 稳流控制结构图

控制器能满足控制角在 $5^\circ \sim 25^\circ$ 之间稳定运行,当控制角小于 5° 时延时 50 秒至 100 秒发出有载调压开关升压信号,自动或手动调节有载开关升压;当控制角大于 25° 时延时 50 秒至 100 秒发出有载调压开关降压信号,自动或手动调节有载开关降

(下转第 55 页)

端随机挑选学生进行预习汇报,避免出现一些同学积极投入课堂活动,而另一些同学消极参与的情况,汇报的点评既可以是来自于教师的视角,也可以是来自学生之间的互评,这种教师、学习同伴之间的交互交流能够成为一种潜移默化的能量,逐渐改变学生被动的学习态度,成为积极的学习者。在课堂教学环节中,教师对于知识、技能的传授更多的是用启发式教学,在学习通平台上呈现不同的情境和任务,启发学生讨论、反思,面对问题主动寻求帮助,可以是教师、同伴,也可以借助手机搜索相关信息,这种持续性努力积极克服学习中困难的体验,不仅有利于学习策略的养成,还能给学生带来较高的自我效能感。

2.3 课后延展

在课后延展环节,学习通设置了章节检测、作业考试的模块。教师设计与教学目标紧密吻合的在线作业、测试上传至学习通平台,学生在规定时间内自主完成作业测试,平台系统自动给出评价,学生及时了解自己的学习状况,做出自我诊断和调节^[7]。教师在后台能随时掌握学生完成作业的情况,做出有针对性的反馈和指导。除了以上这些,教师还能通过学习通掌握学生的访问频率,这是基于学习通设计理念中“过程性评价与总结性评价相结合的多元化课程评价体系”。多元化的评价体系更能客观如实地反映学生的学习状态,学生不仅需要自我监控是否达成学习目标,还需要自我调节学习的参与度、积极性,从而在接

受学习任务起,学生就能努力做到自主规划学习时间、学习策略,做到自主学习,自我导向地学习。

3 结语

学习效能是学习状态的具体表现,是影响学业成就的核心因素。当移动学习终端与英语学习相结合,成为英语教学改革的一个新领域时,能否提升学生的学习效能是教师设计优化移动学习资源时考虑的首要问题。只有在移动学习平台的辅助下展开自主的、个性化的学习,才能凸显这一学习方式独特的内涵。

【参考文献】

- [1] 袁克定,潘海燕.远程学习者元认知与学习效能感关系分析与研究[J].中国远程教育,2007(12):40-43.
- [2] 李彤彤.在线学习者效能的结构及关键影响因素的研究[J].电化教育研究,2017(9):49-56.
- [3] 尹睿,许丹娜.网络学习与大学生自我效能感关系的研究报告[J].电化教育研究,2011(8):46-52.
- [4] 张超,杨改学.在线学习活动的学习支持探析——基于教师有效指导的视角[J].中国电化教育,2011(10):70-74.
- [5] 黄丹卉.高职公共英语课程的移动微学习策略探索[J].鄂州大学学报,2017(3):66-69.
- [6] 屈玉琴.高职英语微信移动学习平台的构建研究[J].湖南邮电职业技术学院学报,2017(4):70-71,79.
- [7] 陈萍.基于移动学习终端的高职英语自主学习模式探索[J].职业技术教育,2015(5):47-49.

(上接第15页)

压,使得整流系统处于稳定运行状态。当主通道脉冲发生故障时,可以瞬时自动通过CAN总线切换到备用触发板。控制柜的直流电流给定值可以在现场操作,也可以在PC计算机界面上进行操作。

4 结论

基于三相全控桥的24脉波整流电路提高了输出电压,通过桥臂晶闸管器件并联也提高系统的输出电流。整流变压器采用三角形联结,消除了三次谐波,通过一次绕组的移相技术形成基础的12脉波整流,两组配合形成24脉波整流。多重化整流确实减小了谐波,降低了直流侧的纹波系数。变压器和整流柜之间采用先进的非同期逆并联结构,降低了成本,提升了安全性。基于以太网通信的控制系统也使得系统自动化效率较大幅度提高。

【参考文献】

- [1] 华陈亮,沈伟芳,王勤,陈彬.晶闸管在国产双频淬火机上的应用[J].中国冶金,2007(5):47.

- [2] 周秋菊.12脉波共铁芯整流变压器感应滤波及环流问题研究[D].长沙:湖南大学,2013.
- [3] 赵忱.大功率金银电解整流及监视系统的研制[D].长沙:湖南大学,2006.
- [4] 谢迎松,曾立群.等效24脉波整流机组在铜电解中的应用与分析[J].中国有色冶金,2012(4):44.
- [5] 危亚军,郭显胜,黄永钢,辛雪倩,柴彪,杨依霖.80t低频气保恒熔速电渣炉的技术特点及应用[J].中国冶金,2017(6):58.
- [6] 张俊.等效48脉波电解电源分析[J].中国有色冶金,2017(6):33.
- [7] 李冬林.整流装置非同相逆并联接线的原理[J].变压器,2009(3):29.
- [8] 陈欢,宋平岗,章伟,游小辉,周振邦.基于变压器延边三角形接法的城轨24脉波整流机组的研究[J].电气传动自动化,2016(1):1.
- [9] 郭志冬.基于西门子PLC的电机转速测量系统设计[J].湖南邮电职业技术学院学报,2018(3):36-37,40.
- [10] 鄢玉晶.基于PLC的双环缝焊机控制系统设计[J].湖南邮电职业技术学院学报,2016(3):92-95.