

单相PWM整流器直接电流控制策略的研究

唐山轨道客车有限责任公司 张荣佳 刘春海 王莹 侯转转

【摘要】通过对单相PWM整流器的控制思路的提出,分析并总结了单相PWM整流器直接电流控制的几种控制策略,分析了每种策略的工作原理和优缺点,并总结和展望了单相PWM整流器直接电流控制技术的发展趋势。

【关键词】单相PWM整流器;直接电流控制

1. 前言

随着电力电子技术的发展,功率电子设备的应用越来越广泛,致使大量的非线性负载涌入电网,给电力系统的电压和电流都带来了越来越严重的谐波污染。而PWM整流器提高了系统的功率因数,降低了对电网的谐波污染,得到了人们的重视。

根据输入电感电流状态PWM整流器可分为电流断续工作模式(DCM)和电流连续工作模式(CCM),由于CCM模式具有输入输出电流纹波小、滤波容易、器件导通损耗小、适用于大功率场合等优点,得到了更多地关注。在CCM模式中,根据是否直接选取瞬态电感电流作为反馈量,又可分为直接电流控制和间接电流控制。间接电流控制结构简单、无需电流传感器,但是它最大的缺点是电流动态响应缓慢,甚至交流侧电流中含有直流分量,且对系统参数波动较敏感。相对于间接电流控制,直接电流控制把整流器的输入电流作为反馈和被控量,形成电流闭环控制,使电流动态、静态性能得到了提高,同时也使网侧电流控制对系统参数不敏感,从而增强了电流控制系统的鲁棒性^{[2][3]}。所以,直接电流控制技术有着非常广阔的应用前景和使用价值。

2. 单相电压PWM整流器原理框图

单相电压型PWM整流器的拓扑结构如图1所示,它主要由三部分组成:交流回路、功率开关桥路、直流回路。其中交流回路包括交流电动势 U_N 、网侧电阻 R_N 及网侧电感 L_N 等;直流回路包括由电感 L_2 和电容 C_2 组成的串联谐振电路用来滤除电网的2次谐波分量、滤波电容 C_d 及负载 R_L 等;功率开关桥路由四个反并联二极管的IGBT组成^[1]。

单相PWM逆变器的控制思路是:在保证直流侧电压稳定的情况下,使交流侧的电流与电压尽可能的保持同相位,从而使交流侧的功率因数为1。

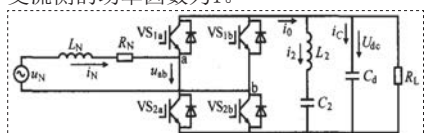


图1 单相电压型PWM整流器原理框图

3. 单相PWM整流器直接电流控制技术分析

直接电流控制根据控制方式的不同,又可分为滞环电流控制、峰值电流控制、预测电流控制、平均电流控制、状态反馈控制单周控制等。

3.1 峰值电流控制

峰值电流控制的原理是实时比较实际电流和指令电流瞬时值的大小,指令电流值是实际电流的上限,实际电流一旦达到这个上限,立刻转而向下衰减,电感值的

大小,线路的阻抗和脉宽调制的开关频率影响了这一衰减的最终值。其控制原理框图如下。

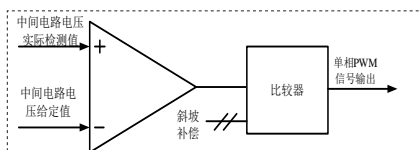


图2 峰值电流控制原理图

峰值电流的优点:①暂态闭环响应较快,对输入电压的变化和输出负载的变化的瞬态响应均快;②控制环易于设计;③输入电压的调整可与电压模式控制的输入电压前馈技术相媲美;④简单自动的磁通平衡功能;⑤瞬时峰值电流限流功能,即内在固有的逐个脉冲限流功能;⑥自动均流并联功能。缺点有:①占空比大于5%时开环不稳定性,峰值电流与平均电流的误差难以校正;②闭环响应不如平均电流模式控制理想;③占空比大于0.5时系统产生次谐波振荡;④对噪声敏感,抗噪声性差;⑤电路拓扑受限制;⑥对多路输出电源的交互调节性能不好^[4]。

3.2 滞环电流控制

滞环电流控制方式作为峰值电流控制方式的改进,只是增加了一条限制电流衰减的下限。其原理仍然是指令电流和实际电流的实时值比较,实际电流达到上限指令电流,随即转入衰减,衰减至下限指令电流,重新开始上升,如此反复,实际电流将是一条在上下限指令电流跳动的锯齿波。

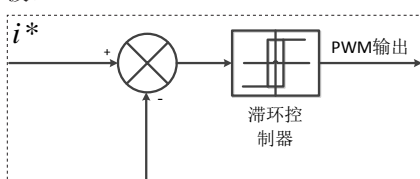


图3 滞环电流控制原理图

其控制原理图如图3所示,图中将指令电流 i^* 和实际电流 i 进行比较,两者的偏差 Δi 作为滞环比较器的输入,通过滞环比较器产生控制电路主电路中开关通断的PWM信号,该PWM信号经驱动电路控制功率器件的通断,从而控制电流 i 的变化。

滞环电流控制的优点是结构简单,实现容易,具有很强的鲁棒性和快速动态响应能力。缺点是开关频率不固定,滤波器设计困难,需要对电感电流全周期的检测和控制。

3.3 平均电流控制

平均电流控制的工作原理是将电感电流信号与锯齿波信号相加,当两信号之和超过基准电流时,开关管关断,当其与小于基准电流时,开关管导通。取样电流来自实际输入电流而不是开关电流。其控制

原理图如图4。

平均电流控制的优点是:①平均电感电流能够高度精确地跟踪电流编程信号;②调试好的电路抗噪声性能优越;③适合于任何电路拓扑对输入或输出电流的控制;④易于实现均流。缺点是:①电流放大器在开关频率处的增益有最大限制;②双闭环放大器带宽、增益等配合参数设计调试复杂^[5]。

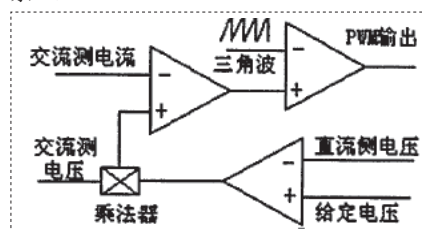


图4 平均电流控制原理图

3.4 预测电路控制

预测电流控制的原理是在每个调节周期开始时通过对输入、输出电压和输入电流的采样,根据实际电流和参考电流的误差,选择优化的电压矢量作用于下一个周期,使实际电流在一个周期内跟踪上参考电流,实现稳态无误差。预测电流控制原理框图如图5所示,其中 U_{ref} 为给定电压, U_{dc} 为直流侧反馈电压。这种控制的优点:开关频率固定,动态性能良好,电流谐波小,器件开关应力小,数字实现简单。缺点:要求较高的采样频率和开关频率,在低的采样频率下,会产生周期性的电流误差^[6]。

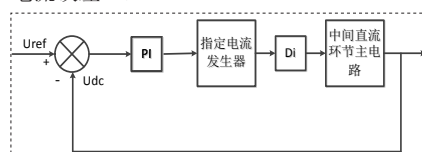


图5 预测电流控制原理图

3.5 无差拍控制

无差拍控制是一种在电流滞环比较控制技术基础之上发展起来的全数字化控制技术,利用前一时刻的电流参考值和各种开关状态下变流器的电流输出值,根据空间矢量理论计算出整流器下一时刻应满足的开关模式,选择这种开关模式作为下一时刻的开关状态,从而达到电流误差等于零的目标。采用无差拍控制的优点数学推导严密、跟踪无过冲、动态性能好,易于计算机执行,可以消除稳态误差,并在最短的时间内结束过渡过程但它也存在鲁棒性较差、瞬态响应超调量大、计算实时性强因而对硬件要求很高等缺点。随着数字信号处理器应用的不断普及,这是一种很有前途的控制方法^[7]。

3.6 状态反馈控制

状态反馈控制是针对电流型可逆整流

浅析发电厂变压器运行维护中应注意的问题

江苏华电扬州发电有限公司 马欣驰

【摘要】作为发电厂电气运行的关键设备之一，变压器起着电流的输送配置、电压的转换等重要作用。因此，变压器运行状态的良好与否直接影响着发电厂乃至区域电力系统的整厂运转。本文简要分析发电厂变压器运行维护中应注意的问题，旨在确保其能够安全、可靠、高效地运行。

【关键词】变压器；运行维护；问题分析；故障处理

发电厂变压器如果出现事故，轻则断电，促使生产中止，导致相关电力设备损坏；重则发生连锁反应，以致大范围停电，直接或者间接地造成巨大的经济损失。为预防变压器安全事故的发生，就需要在分析其在运行维护所要注意问题的基础上，强化变压器的运行管理，有效监测变压器运行状态，促使变压器能够安全运行，一旦出现故障，就应该采取对策，第一时间进行解决，有效地防止故障状态的转化，依据变压器的运行数据，对变压器的运行状态进行分析，判定变压器的健康状况，确定是否需要进行检修。

1. 绕组的主绝缘和匝间绝缘应注意的问题

1.1 注意问题

1.1.1 绝缘脆裂

变压器绕组绝缘会受到长期超重负荷运行、内部散热不善等不良因素影响，导致绝缘脆裂，大大削弱了其抗电强度。

1.1.2 短路冲击

绕组在受到数次短路冲击作用后会呈现结构变形，造成其绝缘性能受损，如果出现电压大幅度波动，就可能使得绝缘击穿问题的产生。

1.1.3 油层含水

变压器油中混有水分，致使绝缘强度不能满足变压器正常运行的电压而出现绝缘击穿。

1.1.4 绝缘膨胀

在高压绕组强化线段或者低压绕组位段，在受到绝缘膨胀作用的影响下，变压器内部发生油道堵塞，使得散热不良，进而在较高温度下绕组绝缘老化问题严重，很容易出现短路击穿。

1.1.5 天气影响

如果发电厂规划设计的防雷系统部不完善，就有可能在大气过电压的强力作用下，导致绝缘击穿。

1.2 检测内容

变压器的温度计计量要准确，油温

要正常，无渗、漏油现象；运行负荷要正常、内部散热应良好；升压站防雷设施应完善。

2. 变压器套管应注意的问题

2.1 注意问题

这方面常出现的问题分为套管闪络和爆炸：在变压器高压一段普遍采用的是电容套管，因其瓷质不达标、存在沙眼、留有裂纹、套管不密实等就会出现漏油问题；如果套管内部积累大量油垢，就很可能导致套管闪络和爆炸。

2.2 检查内容

这就需要运行人员在套管检查时，应确认套管油位是否正常，外瓷有无磨损裂纹、油垢是否估量、油质正常与否等等。

3. 铁芯绝缘应注意的问题

变压器铁芯是由硅钢片叠装成的，相邻硅钢片间涂有绝缘漆膜。如果硅钢片并固置完善，造成漆膜破损出现涡流，导致局部过热；穿心螺丝、压铁等构件绝缘性能降低，引发内部某点过热；如果变压器内部存留有铁屑或者焊接残渣，就有可能使得铁芯多处接地，导致短路击穿。

4. 瓦斯保护应注意的问题

作为变压器主保护内容，轻瓦斯可用于信号处理方面，重瓦斯应用在跳闸方面。

4.1 轻瓦斯保护

变压器内部存有轻微故障、少量空气混入、二次回路故障等因素都能让轻瓦斯出现保护动作而发出信号，运行人员在收到信号的第一时间应该进行检查，对其内部气体进行取样研究处理。

4.2 重瓦斯保护

由于严重故障的出现而促使油分解，导致大量气体积累在变压器内部，或者发生二次回路故障，就会使得重瓦斯保护动作，出现跳闸现象。运行人员应该开展全方位的检查，如油枕防爆门、焊接缝、外壳、气体可燃性能等等。

5. 变压器自动跳闸应注意的问题

如果出现变压器自动跳闸现象，就应

该先要把跳闸断路器的控制开关调到跳闸后的地方，还要能够及时地采用备用变压器，对其运行方式以及相关负荷配置，使得变压器能够正常运行；然后就可以进行保护动作的检查，找出故障发生的原因所在。如果并未找出故障主要引发因素，就不能将出现跳闸的变压器用于电力系统供电。

6. 变压器运行维护其他方面应注意的问题

6.1 变压器音响

保持变压器运行时音响的正常，均匀嗡嗡电磁声说明其运行良好，如果声音出现不正常，在认真仔细检查基础上，形成客观判断，向相关检修部门反映，及时检修处理。

6.2 变压器引线

变压器引线应无断股问题，接头应该保持良好状态，不会出现过热变色或者温片熔化现象。呼吸器工作正常，矽胶变色程度要控制在75%范围内。

7. 结束语

基于以上分析论述，变压器日常运行状态的良好不仅仅局限于其结构设计以及所采用的制定工艺，还应综合考虑其长期使用、维护管理等多个方面，为预防变压器事故的发生，就应从内部绕组、套管、铁芯绝缘、瓦斯保护、自动跳闸等多个方面分析其应注意的问题，确保变压器安全稳定地运行。

参考文献

- [1]张蕾.关于变电站变压器的运行维护及异常分析[J].大科技,2013(2).
- [2]韦开平.变压器的运行维护及故障处理[J].科技致富向导,2012(36).
- [3]熊辉平.配电变压器的运行维护管理[J].大科技,2012(24).
- [4]袁志,龙立.论电力变压器运行过程中的检修与维护[J].科技创新与应用,2012(22).

器输入滤波器容易出现振荡以消除振荡的控制方式。其控制原理图如下图6。

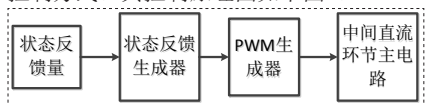


图6 状态反馈控制原理图

4. 总结与展望

直接电流控制是单相高功率因数整流器的主要控制方式，也是我们以后研究的重心。利用各种控制策略的优缺点，采用多种控制策略相结合，形成互补关系，达到理想的效果，这也是控制技术发展的一个方向。新的直接电流控制策略的研究将是另一个方向。随着数字信号处理器的普遍应用和人工智能技术的逐渐成熟。数字

控制和智能控制也将是我们研究的目标，这将是直接电流控制技术发展的主流。

参考文献

- [1]张崇巍,张兴.PWM整流器及其控制[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [2]张笑微,李永东,刘军.PWM整流器电流控制策略的研究[J].电工技术杂志,2003(12):57-59.
- [3]王也仿.PWM整流器的直接电流控制策略和控制器的设计[J].科技通报,2005(9):580-583.
- [4]吴振军,鲁静,赵坤,高峰.降低Boost型变换器电磁干扰水平的峰值电流控制方法[J].郑州轻工业学院学报,2004,19(1):34-37.
- [5]杨汝.平均电流模式的控制电路设计[J].电力电子技术,2002,36(4):66-69.
- [6]朱俊杰,王辉,周凯.三相PwM高功率因数整流器控制

- 制技术综述[J].湖南工程学院学报,2004(9):19-22.
- [7]张志刚,黄守道,任光法,陈继华.三和电压型SVPWM整流器控制策略研究[J].长沙大学学报,2004(12):33-36.
- [8]李正熙,李久和,李华德.电压型PWM整流器非线性控制策略综述[J].电器传动,2006,36(1):9-13.
- [9]姜静,伍清河.模糊滑模变结构控制技术的研究[J].电光与控制,2006,13(2):41-44.
- [10]朱桂萍,王树民.电能质量控制技术综述[J].电力系统自动化,2002(10):28-31.

基金项目：CRH3A动车组项目（项目编号：2012TCY 033）。

作者简介：张荣佳（1983—），男，工程师，研究方向：电气牵引与传动。

单相PWM整流器直接电流控制策略的研究

作者: [张荣佳](#), [刘春海](#), [王莹](#), [侯转转](#)
作者单位: [唐山轨道客车有限责任公司](#)
刊名: [电子世界](#)
英文刊名: [Electronics World](#)
年, 卷(期): 2013(17)

参考文献(10条)

1. [张崇巍](#); [张兴](#) [PWM整流器及其控制](#) 2003
2. [张笑微](#); [李永东](#); [刘军](#) [PWM整流器电流控制策略的研究](#)[期刊论文]-[电工技术杂志](#) 2003(12)
3. [王也仿](#) [PWM整流器的直接电流控制策略和控制器的设计](#)[期刊论文]-[科技通报](#) 2005(09)
4. [吴振军](#); [鲁静](#); [赵坤](#); [高金峰](#) [降低Boost型变换器电磁干扰水平的峰值电流控制方法](#)[期刊论文]-[郑州轻工业学院学报](#) 2004(01)
5. [杨汝](#) [平均电流模式的控制电路设计](#)[期刊论文]-[电力电子技术](#) 2002(04)
6. [朱俊杰](#); [王辉](#); [周凯](#) [三相Pwm高功率因数整流器控制技术综述](#) 2004(09)
7. [张志刚](#); [黄守道](#); [任光法](#); [陈继华](#) [三和电压型SVPWM整流器控制策略研究](#) 2004(12)
8. [李正熙](#); [李久和](#); [李华德](#) [电压型PWM整流器非线性控制策略综述](#)[期刊论文]-[电器传动](#) 2006(01)
9. [姜静](#); [伍清河](#) [模糊滑模变结构控制技术的研究](#)[期刊论文]-[电光与控制](#) 2006(02)
10. [朱桂萍](#); [王树民](#) [电能质量控制技术综述](#)[期刊论文]-[电力系统自动化](#) 2002(10)

引用本文格式: [张荣佳](#). [刘春海](#). [王莹](#). [侯转转](#) [单相PWM整流器直接电流控制策略的研究](#)[期刊论文]-[电子世界](#) 2013(17)