

文章编号:1001-1609(2006)03-0228-03

磁阀式可控电抗器在高压电机软起动中的应用

杜姗姗, 陈柏超, 余梦泽, 邢海瀛, 袁佳歆

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

The Application of Magnetically Controllable Reactor in the Soft-start of High Voltage Motor

DU Shan-shan, CHEN Bai-chao, YU Meng-ze, XING Hai-ying, YUAN Jia-xin

(School of Electric Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

摘要: 在比较各种软起动方式的基础上,提出了一种新型电机磁控软起动方案,即在电动机定子回路串入磁饱和可控电抗器来实现电机的软起动,能保证电动机按负载要求的起动特性平滑起动,有效地降低电机起动对电网的冲击。

关键词: 软起动; 磁阀式可控电抗器; 大电机

中图分类号: TM923

文献标识码: A

Abstract: All kinds of soft-start schemes for electric machines are discussed and compared. A new magnetically controllable reactor soft-start scheme is proposed. During starting, the MCR is in series with the motor, which can ensure starting smoothly. The soft-start of the motor according to different load requirements, can effectively reduce the start inrush to the connecting power network.

Key words: soft-start; magnetically controllable reactor (MCR); power motor

1 引言

高压电机软起动^[1]是指在高压(主要指6 kV, 10 kV)大功率电动机起动过程中,伴随着电动机反电动势的不断建立,电机端电压由某一值(通常为65%,视负载而不同)逐渐上升至全压,电机转速上升到额定值,最后切除降压器件的过程。软起动可分为有级和无级两类。传统的软起动都是有级的,包括定子串电抗或串电阻起动、Y- Δ 起动、自耦变压器起动^[2]、延边三角形起动等方法。无级类中的液阻软起动^[2]和晶闸管软起动^[3],均是在电动机定子回路串入有限流作用的电力器件来实现软起动。

磁控软起动和传统的起动方式均属于降压起动,磁控软起动的突出作用在于作为降压器件可无级调节。可以降低起动电流,减小电网降压,缩短起动时间,降低机械冲击,对电机、电网和负载都有好处。

2 磁控软起动

2.1 磁控软起动的工作原理

2.1.1 三相异步电动机的起动过程

当异步电动机直接投入电网时,异步电动机对电网呈现短路阻抗,又由于一般异步电动机的短路阻抗为额定阻抗的0.14~0.25倍,因而在额定电压下直接起动时,起动电流为额定电流的4~7倍。由于转子回路起动时转子漏抗远大于转子电阻,转子功率因数很低,因而虽然起动电流很大,但是有功分量却不大,起动转矩也较小。

对异步电动机的起动过程来说,要求起动电流尽可能大,这样能产生大的起动转矩,缩短起动时间。但是过大的起动电流不仅会在线路和电机内部产生损耗而引起发热,而且还会使电源电压在起动时下降,特别是容量较小的电源,电压下降的幅度过大会对同一电网的其它用户造成相当大的影响。

由以上分析可以看出,从电网安全的角度来看,电机的起动电流应该限定在较小值,但不能太小,否则电机无法起动。因此,电机的起动电流应控制在额定电流的3~4倍。

2.1.2 磁控式起动过程

图1为系统结构框图。在异步电动机的起动和停止过程中,将交流断路器断开,通过磁阀式可控电抗器^[4]装置对电机进行控制;而在电机正常运行过程中,交流断路器吸合,把三相交流电直接加到相同的定子绕组上,这种做法既能保证电机的软起动、软停车,又能在电机正常运行时用断路器短接磁阀式可控电抗器,从而去除电抗器的附加能耗,提高系统运行的可靠性。限流作用的强弱变化是通过控制直流励磁电流、改变铁心的饱和度实现的,故称为磁控式电机软起动。其中,同步变压器部分检测出的系统

收稿日期:2005-09-15

作者简介:杜姗姗(1982-),女,湖北荆州人,硕士研究生,研究方向为电力系统过电压及抑制,电力电子在电力系统中的应用。

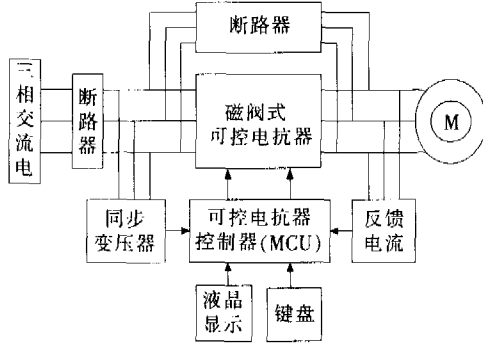


图 1 系统结构框图

电压过零点，是控制器发出晶闸管触发脉冲时刻的依据；反馈电流部分实时检测出电动机的电流后，交由 CPU 根据控制信号来发出相应的控制指令；液晶和键盘部分提供友好的人机界面。

2.1.3 列表比较各类软起动

目前国内运行的软起动装置多为液阻软起动和热变电阻软起动两类，这两种方式都存在明显的不足：液阻式所需的液阻箱容积大，软起动的重复性较差，且其驱动电极板存在较大的安全隐患；热变电阻式装置存在无法在不同温度下保持相同起动特性及不可控等问题。笔者提出的磁控软起动装置就是针对液体电阻和热变电阻存在的诸多缺点而开发的最新换代产品，是从电抗器软起动衍生出来的。表 1 对各类软起动的性能进行了比较。由表 1 可以看出，磁控式具有速度快、可靠性高等优点。

2.2 磁阀式可控电抗器简介

磁阀式可控电抗器的铁心磁路由大面积段和小面积段串联构成，见图 2^[5]。在可控电抗器整个容量

表 1 各类软起动的性能比较

	自耦变压器	晶闸管	磁控	液阻	热变电阻	变频
基本性能和特征	有触点电网 电流可放大	微电子-晶闸管调 节快,闭环控制	微电子-饱和电抗器 调节较快,闭环控制	离子导电电极板阻 值由极板间距控制	离子导电利用电 阻负温度特性	牺牲转矩可 调速,节能
主要控制方式	开环	闭环	闭环	开环/闭环	开环	开环/闭环
实现软停止	难	易	较易	较难	不能	易
高次谐波	小	大	较大	无	无	可消除
供应厂家	国外、国内	国外	国内	国内	国内	国外、国内
kW/元		200~500	60~80	20~40	10~30	1 000 以上
维护工作量	小	较小	小	较大	较大	较小
对环境温度要求	较低	较高	较低	较低	较高	较高
恶劣环境下的耐受力	较强	较弱	较强	较弱	较弱	较弱

调节范围内，大面积段铁心始终处于磁性的未饱和和线性区，磁阻相对于小截面段可以忽略；小面积段的磁饱和度和可设计得接近极限值。此时，可控电抗器所产生的谐波很小，约为晶闸管控制电抗器所产生谐波的 1/2。在电源的一个工频周期内，晶闸管的轮流导通起了全波整流的作用，二极管 D 起着续流的作用，因而有利于晶闸管 K_1 和 K_2 的关断，提高整流效率。改变 K_1 和 K_2 的触发角便可改变控制电流 i_k (i_k') 的大小，从而改变电抗器的饱和度，实现平滑连续地调节可控电抗器的容量。

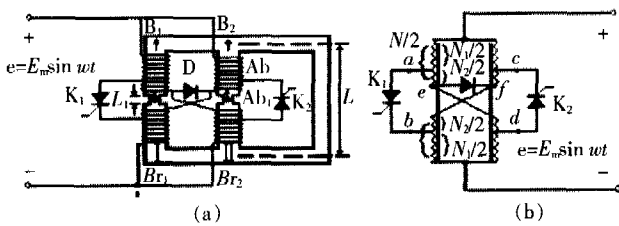


图 2 磁阀式可控电抗器原理图

磁阀式可控电抗器伏安特性见图 3。由图 3 可见，在一定控制导通角 α 下，磁阀式可控电抗器伏安特性近似线性，所以能有效地消除其运行时可能产生的参数振荡现象。

磁阀式可控电抗器控制特性见图 4，图中横坐标为可控硅控制角度，纵坐标为电抗器在额定电压下的基波电流幅值标幺值，基准值为额定基波电流

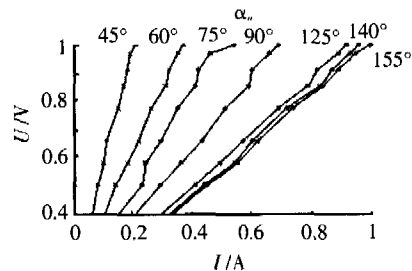


图 3 磁阀式可控电抗器伏安特性

幅值。由图 4 可见，可控电抗器输出电流(容量)随控制角增加而减少。

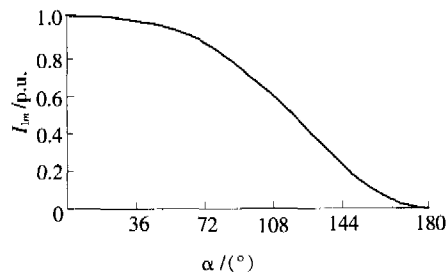


图 4 磁阀式可控电抗器控制特性

图 5 为磁阀式可控电抗器从空载到额定或从额定到空载容量的电流过渡过程波形，时间约为 0.3 s。如额定容量为 300 MV·A 的可控电抗器，紧急情况下可在 0.3 s 内提供 300 MV·A 的无功功率。

磁阀式可控电抗器具有 0.1 s 量级的惯性，对于高压电动机数十秒的起动时间来说，可以不考虑。

3 试验分析

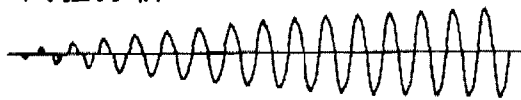


图5 可控电抗器调节过渡过程波形

3.1 低压试验部分

在380 V试验电压下,将3台单相可控电抗器星型连接,设定额定电流为15 A,起动电流为2倍额定电流(30 A),低压试验得到的起动电流曲线见图6。由图6可以看到,该新型磁控软起动装置的响应速度特别快,只需9个周期即可达到恒定的起动电流。图7为软停止的电流曲线,可以实现电机的软停车,完全符合预期目标。

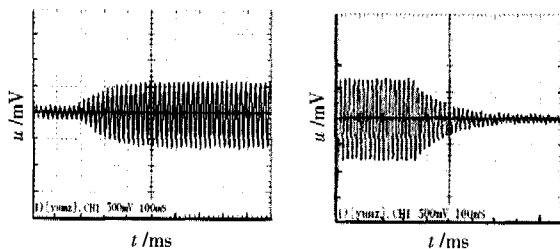


图6 低压试验起动电流波形 图7 低压试验停车电流波形

3.2 现场试验部分

10 kV, 6 300 kW 磁控软起动装置已成功投运。电机额定电流为372 A,采用恒流起动,起动电流设定为3倍额定电流(即1 116 A)。通过1 200 A:5 A的电流互感器(使用CLAMP ADAPTER 8112电流互感器,直接输出电压 $U_{max}=200$ mV),测得的起动电流初始波形见图8。初始给出2个周波的冲击电流,便于电机的起动。

电流的历史曲线见图9。从图9可以看到,电机起动电流约为1 100 A,并保持恒定,与设定的起动电流值相符,起动时间为38 s,完全符合设计要求。

4 结语

(1)笔者研制的电机磁控式软起动装置,采用磁

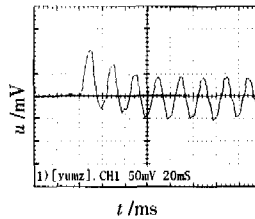


图8 起动电流初始波形

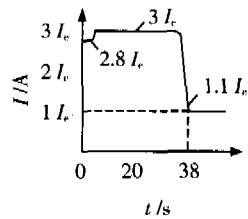


图9 起动电流历史曲线

饱和式可控电抗器实现软起动,试验证明起动限流调节平滑、快速、可靠性高。另外制造成本较低,尤其适用于高电压、大容量电机起动的场合,在电机起动控制中得到了成功的应用。

(2)试验表明,该新型磁控软起动装置的响应速度特别快,只需经过9个周期即可达到恒定的起动电流。并且可以实现电机的软停车,完全符合预期目标。从现场试验部分可以看到,电机起动电流约为1 100 A,并保持恒定,与设定的起动电流值相符,起动时间仅为38 s,完全符合设计要求。

参考文献:

- [1] 高越农. 高压电动机软起动[J]. 自动化博览, 2003(5): 49-50.
- [2] 聂胜利. 大型高压电动机降压起动的探讨[J]. 通用机械, 2004(7): 65-67.
- [3] 韦忠朝. 交流电动机软起动与节能控制中的数字触发系统[J]. 电力电子技术, 2001, 35(6): 1-3.
- [4] 陈柏超. 单相可控电抗器的一种谐波抑制原理及实现[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(3): 63-67.
- [5] 陈柏超, 钱建华. 基于磁阀式可控电抗器的无功补偿系统[J]. 电力系统及自动化学报, 2003, 15(2): 66-70.
- [6] Blaabjerg F, Pedersen J K, Rise S, et al. Can Soft Starters Help Save Energy[J]. IEEE Industry Magazine, 1997, (9/10): 55-66.
- [7] Sastry V V, Prasad M R, Sivakumar T V. Optimal Soft Starting of Voltage-controlled-fed IM Drive Based on Voltage Across Thyristor[J]. IEEE Trans. on Power Electronics, 1997, 12(6): 1 041-1 051.

(上接第227页)能力以及本系统采用的数据多组冗余传输,加强了系统的抗恶劣电磁干扰能力,保证了系统的运行稳定可靠。

参考文献:

- [1] 刘建胜. 一种用于变电站高压触点温度在线监测的新方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(4): 54-57.
- [2] 刘明光. 真空断路器触头温度在线监测系统研究[J]. 铁道学报, 2002, 24(1): 39-42.
- [3] 李泰军. 开关柜母线温度的在线监测[J]. 高压电器, 2001, 37(3): 61-63.
- [4] 费万民. 高压开关触点和母线温度在线检测与监测系统[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(3): 86-89.
- [5] 王志勇. 高压母线温度在线测量装置[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(7): 60-61.
- [6] 柳平. 基于HCI实现蓝牙模块与单片机的通讯[J]. 汕头大学学报(自然科学版), 2003, 18(3): 48-52.
- [7] 张粤. 蓝牙技术在机械手控制系统中的应用[J]. 工业控制计算机, 2003, 16(3): 8-11.
- [8] 董自建. 用单片机实现HCI层的蓝牙数据传输[J]. 淮海工学院学报, 2003, 12(2): 25-27.
- [9] 孙吉福. PC机间蓝牙串口通信的HCI实现[J]. 山东建筑工程学院学报, 2004, 19(1): 72-75.
- [10] 唐振洲. 基于UART传输层的蓝牙主机控制接口(HCI)的实现[J]. 无线通信技术, 2003(3): 1-5.
- [11] 刘君华. 虚拟仪器图形化编程语言LabVIEW教程[M]. 西安: 电子科技大学出版社, 2001.
- [12] 杨武. 基于红外测温技术的高压电力设备温度在线监测传感器的研究[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(9): 113-117.