

# 磁控式并联电抗器控保系统设计方案

谢俊, 徐峰, 朱祥

南瑞南瑞继保电气有限公司, 江苏省南京市 211102;

## RELIABLY DESIGN OF THE CONTROL AND PROTECTION SYSTEM FOR MAGNETICALLY CONTROLLED REACTOR

Xie Jun, Xu Feng, Zhu Xiang

NR Electric Co., Ltd, Nanjing 211102, Jiangsu Province, China .

**摘要:** 磁控式并联电抗器在超高压和特高压电网中应用前景广泛,为了提高MCR系统的稳定性,提出了一种MCR控制与保护系统的配置方案.采用了一套外励磁及两套自励磁系统独立冗余配置,优化并完善了电抗器本体保护功能,提出了控制绕组过电压的设计方案,采用双重化过程控制单元,完善了MCR控制系统结构。

**关键词:** 磁控式并联电抗器;控制与保护

**ABSTRACT:** Magnetically Controlled Reactor will be widely applied in EHV and UHV power system. For improving system stability and safety, a design for MCR control and protection system with high reliability is proposed. A external excitation system and two self-excitation systems are used to configure independently. The protection of MCR is optimized and improved. The design scheme of decreasing over-voltages of control winding is proposed, and the MCR control system structure is improved by using dual process control unit.

**KEY WORD:** Magnetically Controlled Reactor ; Control And Protection System

## 0 引言

我国超高压和特高压电网迅速发展,在特高压交流输电线路中充电功率很大,需要配置高压电抗器进行无功补偿。按限制过电压要求配置的固定高抗,会产生限制过电压与无功功率调节之间的矛盾,传统的固定高抗容量一般按照线路充电功率60%~80%配置,能够有效限制线路过电压,但是线路重载运行时,无功负担偏大,调压能力差,严重影响线路输送能力<sup>[1]</sup>。

磁控式并联电抗器(MCR)是解决限制过电压和无功调相调压之间矛盾的有效手段之一。可控电抗器通过灵活调节输出容量,优化无功分布,降低网损,提高输送能力,改善系统稳定性。同时,相比其他高压大容量无功补偿设备,MCR投资较少,经济性较高,发展前景广大。

本文根据MCR的结构及工作原理,提出了一种高冗余度的控制保护系统设计方案,提高MCR系统可靠性。

## 1 MCR 运行原理及系统结构

磁控式并联电抗器的基本原理是利用铁磁材料磁化曲线的非线性关系,通过改变铁磁材料的饱和度调节电抗器的电感值和容量。MCR的电感与容量见式(1)和式(2)<sup>[2]</sup>:

$$L = \frac{N^2 \mu A_c}{l_t} \quad (1)$$

$$S = \frac{U_N^2}{\omega L} \quad (2)$$

式中:L为MCR电感,N为线圈匝数, $\mu$ 为铁芯磁导率, $A_c$ 为铁芯截面积, $l_t$ 为等效磁路长度, $\omega$ 为电源角频率, $U_N$ 为电抗器额定电压。

随着铁芯饱和度的增加,铁芯磁导率 $\mu$ 减少,电感减小,电抗器容量减小。

高压大容量的MCR一般采用三绕组裂芯式结构形式,三个绕组分别为网侧绕、控制绕组、

补偿绕组, 其结构如图 1 所示。

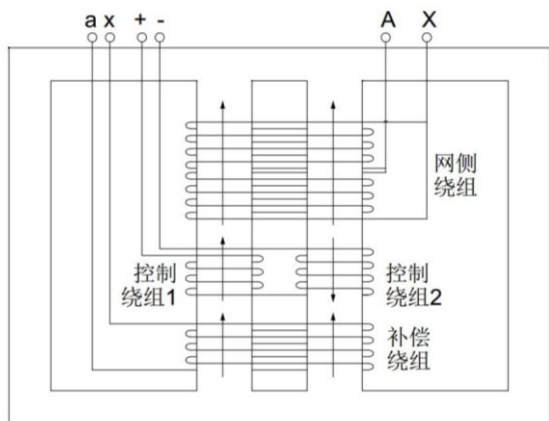


图 1 磁控式并联电抗器结构原理图

Fig.1 Structure Schematic Diagram of MCR

网侧绕组三相接成星形, 连接在系统侧; 补偿绕组用于自励磁取能, 并连接滤波支路消除谐波; 控制绕组由两个绕组反极性串联, 通过用于容量控制, 连接自励磁和站用电外励磁的整流输出回路。MCR 系统的电气主接线如图 2 所示。

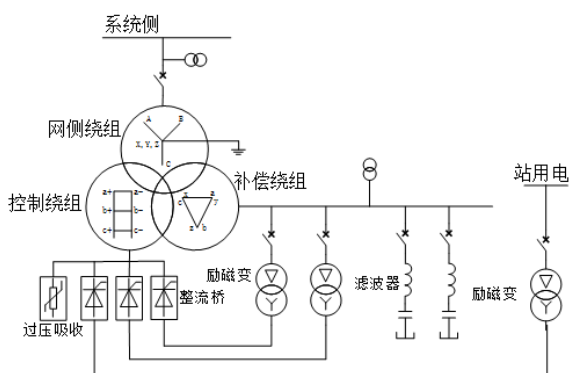


图 2 磁控式并联电抗器电气主接线图

Fig.2 Single Line Diagram of MCR

MCR 系统一般配置 2 套自励磁系统, 励磁电源取自补偿绕组母线, 同时配置一套外励磁系统, 励磁电源取自站用电源。正常运行时由自励磁系统控制 MCR, 2 套自励磁系统在直流侧并联运行, 互为备用。外励磁系统在 MCR 并网运行前作为预励磁使用, 在并网前将 MCR 调整至合适的容量以减小投入过程中可能造成的励磁涌流, 同时, 在正常运行时, 作为自励磁系统的备用。

每套励磁系统由励磁变和整流桥构成, 均能提供磁控高抗额定励磁电流 MCR 在运行中会产生以 5/7 次为主的谐波, 各次谐波分量的大小随

MCR 运行容量的不同而变化。同时励磁系统整流桥亦会产生谐波分量, 会产生谐波分量送入电网。为保证 MCR 和其他设备的正常工作, 需要在补偿绕组配置 5 次及 7 次滤波器各一组。

## 2 保护系统设计方案

### 2.1 MCR 本体保护配置

针对 MCR 特殊的电气结构, 按 220kV 及以上高压保护配置要求, MCR 本体设置 2 套电量保护及 1 套非电量保护。MCR 本体保护, 分别为网侧绕组、控制绕组、补偿绕组配置不同的电气量保护。对于网侧绕组, 与传统固定高抗保护相似, 其保护配置如图 3 所示。

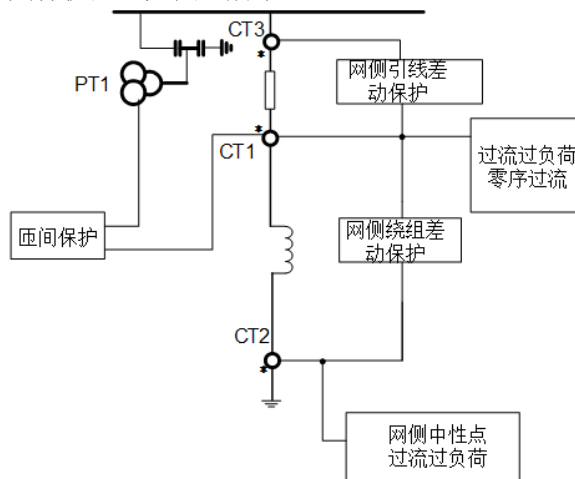


图 3 网侧绕组保护配置图

Fig.3 Network Winding Protection Configuration Diagram

对于 MCR 补偿绕组, 采用套管 CT 实现过流保护的同时, 采用补偿绕组母线电压实现接地报警功能。

在控制绕组中, 在每个绕组中配置差压保护, 在过电压保护中配置过流保护, 以实现控制绕组匝间故障的监测。在整流桥交流侧设置电流互感器, 通过交流电流反映出直流侧控制绕组过负荷。如图 4 所示。在控制绕组绕组的正负两端与大地之间注入一个方波电源, 保护采集正、负半波的数据实时求解直流母线对地绝缘电阻值。可以实现控制绕组接地保护。

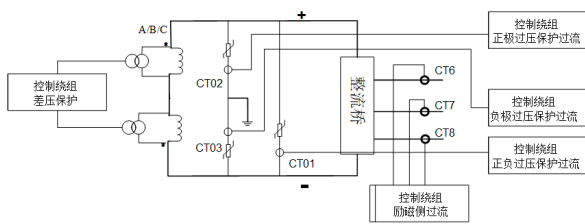


图 4 补偿绕组保护配置图

Fig.4 Compensation Winding Protection Configuration Diagram

## 2.2 过电压保护配置

由于控制绕组由两个绕组反极性串联，正常运行时网侧绕组在控制绕组感应出的电压为 0，但在系统侧故障或者 MCR 发生匝间故障时，控制绕组将产生很高的电压。励磁整流系统为低压设备，对于各种操作或故障造成的操作过电压非常敏感，为保证安全可靠运行需要加装过电压吸收设备。

图 5 提供了一种过电压回路设计方案，在正负极对地及正负极之间各设置 2 级过电压吸收器，第一级由大容量 ZnO 压敏电阻构成，当过电压达到 ZnO 动作电压时，ZnO 可以抑制过电压继续升高。第二级由 FR 构成，FR 在达到动作电压（高于 ZnO 动作电压）时会熔断造成短路，保护励磁系统设备不受损坏，同时加速保护跳闸。

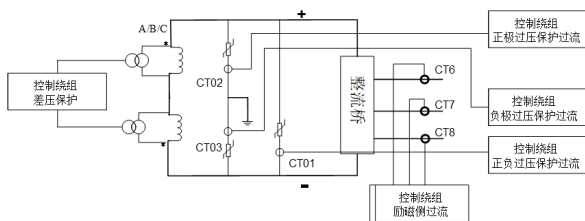


图 5 过电压吸收器原理图

Fig.5 Schematic Diagram of Overvoltage Absorber

## 3 控制设计方案

### 3.1 励磁控制器

MCR 核心励磁控制调节器设置主从双套，在他套故障或外部指令的情况下进行切换，自励磁和外励磁使用独立的 2 套控制器，主要实现 MCR 核心的闭环控制算法。控制器提供了电抗器控制所需的基本调节和控制功能，如以 PID 为调节规律的电压闭环调节方式(AVR)、电抗器无功功率闭环调节方式(AQR)，以 PI 为调节规律的电抗器

励磁电流闭环调节方式(FCR)，以 P 为调节规律的恒角度开环运行方式(OLR)，以及动态数字均流等附加控制功能。同时控制器亦提供完善的过励磁限制和保护功能，保证电抗器、电抗器与系统间的运行稳定性。控制软件如图 6 所示。

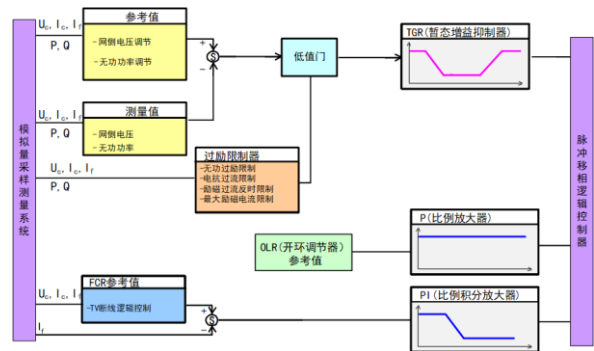


图 6 控制单元软件控制框图

Fig.6 Network Winding Protection Configuration Diagram

### 3.2 整流桥

采用三相桥式整流电路，配置交流直流复合反向阻断式吸收回路，保护可控硅不受过电压损坏、主回路绝缘不受损伤。同时在交流侧装设快速熔断器，对可控硅元件提供过电流保护。

各整流桥设置阀控单元，实现整流桥触发控制和运行监测。

### 3.3 监控系统

磁控式可控高抗监控系统主要由就地控制操作人员站、过程控制单元、以太网交换机、通讯接口装置等组成。

使用过程控制单元替代传统测控装置和协调控制器，所有过程控制主机及 IO 单元均采用采用双重化配置。保护、监控、励磁设备，通过硬件线接入过程控制单元，过程控制单元在实现传统测控装置电气量测控，断路器隔离开关控制等功能的同时，实现 MCR 系统内系统启停顺控流程控制、滤波器支路投切、协调自励磁和外励磁工作、接收 AVC 控制指令并下发至励磁控制器、协调 MCR 与其他无功补偿设备出力等。

### 3.4 各系统联系与配合

MCR 励磁控制器通过光纤下发控制角度给每个整流柜阀控单元，阀控单元之间通过 CAN 总线通讯实现柜间智能均流。外励磁与自励磁的控制器和阀控单元完全独立，通过过程控制单元

实现故障切换。其网络结构如图 7 所示。

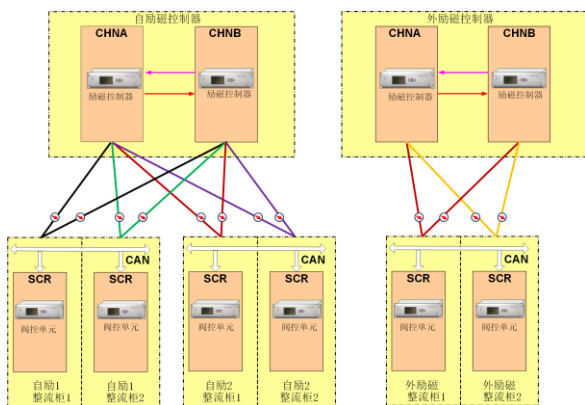


图 7 励磁系统网络结构

Fig.7 Network Structure of Excitation System

过程控制单元通过硬件线采集 MCR 系统所有保护、励磁、阀控及一次设备信号，通过站控层网络传递给控制操作员站，远方实现 MCR 系统一键启停，在故障情况下切除故障设备并投入备用设备；在保护跳闸时，提供紧急停机流程，并在故障后恢复初始状态，为下次启动；采集并下达指令给站内其他无功补偿设备，实现各设备间输出协调。

站控层通过以太网交换机连接过程控制器及其他保护、励磁设备，对上连接 MCR 操作员站，并通过通讯接口装置与变电站监控系统进行数据交互，进而通过变电站监控系统远动通讯设备接入调度。网络结构如图 8 所示。

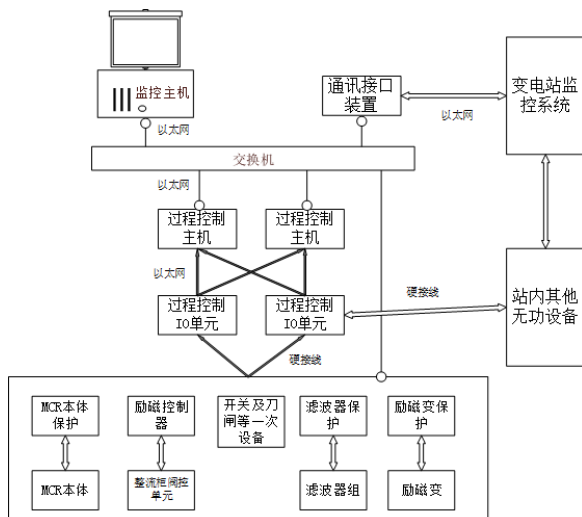


图 8 MCR 控制系统网络结构

Fig.8 Network Structure of MCR Control System

## 5 结论

本文通过分析 MCR 的结构及工作原理，提

出了一种 MCR 控制与保护系统的配置方案。采用了一套外励磁及两套自励磁系统独立配置，每套励磁的控制器双重化配置。电抗器本体保护功能的进行优化设计，按 MCR 不同绕组提出完善的保护配置需求，提出了控制绕组过电压的设计方案；采用双重化过程控制单元替代传统测控装置和协调控制器，完善 MCR 控制系统结构。本文提出的 MCR 控制保护系统方案，可以有效保证 MCR 系统的稳定性，保证电抗器安全可靠运行。

## 参 考 文 献

- [1] 周勤勇,郭强,卜广全,班连庚.可控电抗器在我国超/特高压电网中的应用[J].中国电机工程学报,2007,27(7):1-6.
- [2] 钟俊涛,安 振,章海庭.超高压可控并联电抗器的研发及制造[J].电力设备,2006,7(12):7-10.

收稿日期:

作者简介:

谢俊(1989-),男,江西省赣州市,本科,工程师,主要从事电力系统继电保护及智能变电站设计研究工作

徐峰(1981-),男,辽宁省沈阳市,本科,高级工程师,主要研究方向:电力电子技术在电力系统中的应用。

朱祥(1994-),男,江苏省淮安市,本科,工程师,主要研究方向:电力电子技术在电力系统中的应用。