

基于 MAS 和矩阵算法的组合开关保护测控系统的研究

陈柯耿, 牟龙华

(同济大学电气工程系, 上海 200092)

摘要: 介绍了组合开关、Agent 及多 Agent 技术的概念, 构建了一种新型的 MAS 体系结构, 提出了基于多 Agent 技术的组合开关保护测控方案, 将矩阵算法引入到该系统的辨识与重构中, 并详细介绍了各 Agent 的功能与实现。通过实验室中的调压器、继电保护测试仪和微电脑移相器等设备模拟现场, 完成控制功能试验、保护功能试验、无故障运行试验。从模拟试验结果可知, 文中提出的方案在保护测控方面可行可靠, 并较大提高了系统软件通用性, 真正实现了组合开关的任意组合。

关键词: 电力系统; 组合开关; MAS; 矩阵算法

Study on protecting and monitoring system of combined switch based on MAS and matrix algorithm

CHEN Ke-geng, MU Long-hua

(Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The concepts of combined switch, agent and multi-agent techniques are introduced. A type of new architecture of MAS is constructed. A monitoring and protecting solution of combined switch system based on multi-agent technique is proposed, the matrix algorithm is introduced to the identification and reconstruction of the system, and the function and methodology of every agent are introduced in detail. Under the condition of lab, voltage-regulator, relay-protection testing device and phase-shifter are used for simulating the actual situation of field, to fulfill the control-function test, protect-function test and running-without-fault test. From the test result, the solution proposed in this paper is available and reliable, and greatly improves the general-utility of the system software, truly realizes the random-combination function of the combined switch.

Key words: power system; combined switch; MAS; matrix algorithm

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)24-0055-06

0 引言

继电保护在电力系统中具有极其重要的作用, 其性能优劣直接关系到电力系统运行的稳定性和灵活性。电力系统是一个分布、连续动态变化的开放式系统, 其数据、控制乃至运行维护人员的行为都呈分布状态, 因而对其进行完全集中式的求解可能遇到信息不全、通信瓶颈或计算速度等问题。解决上述问题需不断运用新理论, 新技术, 多 Agent 系统 MAS (Multi-Agent System) 理论就是其中之一。

随着电力系统网络化进程的加快, 分布式应用不断增多, 原有的思维模式因自身缺乏良好的主动性和适应性, 对象之间缺乏良好的协作模式, 不能满足当前电力系统控制技术在分布式网络环境下的应用要求。Agent 的固有性能以及多 Agent 技术在系统之间的交互、协作及资源共享方面的特点, 使其特别适合电力系统的应用, 并成为当前电力系统

智能化研究的热门课题。

Agent 技术是计算机科学中比较新的分支, 从 20 世纪 80 年代才开始研究, 20 世纪 90 年代得到广泛的认同。将 Agent 技术引入到电力系统中尚处于起步阶段, 与电力系统的结合多应用于电力市场、EMS、电压控制、潮流、配电网保护等方面, 而在低压继电保护方面的应用仅是对单一的保护器进行 Agent 体系结构进行构建, 对 Agent 应用于多保护装置构成的综合低压继电保护系统的研究则很少。本文将利用 Agent 智能化的工作机制, 结合组合开关保护测控系统的实例, 通过将组合开关中各控制设备的控制、保护规则转化为软件进程^[2], 构建新型的 MAS 继电保护体系结构, 并将矩阵算法引入到系统的辨识和重构中, 以期为低压继电保护系统各保护、控制间的协调提供新的思路。

1 基于 MAS 的组合开关保护测控系统

组合开关是一种矿山等生产中必需的电气设

备,它的前身是磁力启动器。磁力启动器是一种带各种保护功能的电机控制开关,该开关控制电机的启动和停止,并且为电机提供漏电、短路、过载、断相、过/欠压、启动时间过长、启动频繁等一系列完备的保护,而组合开关就是将若干个磁力启动器的控制回路和监控的主控制回路集中起来的设备。一台组合开关的功能相当于多台单体开关的功能,从而简化了各单体开关之间的电缆连接,便于进行集中管理和故障排查,并且能根据实际应用的需求进行任意组合,适应生产中的各种控制应用。

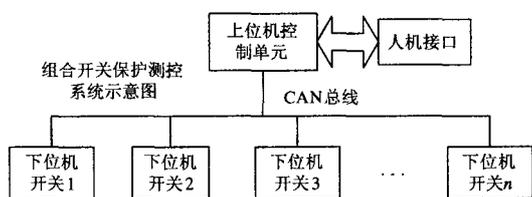


图1 组合开关保护测控系统结构示意图

Fig.1 Structure of combined switch

传统组合开关的保护、控制较为简单,不具备智能化功能。新设计的组合开关保护测控系统如图1所示,它是由一台上位机和多台保护测控单元下位机构成的一个分布式系统。为了体现组合开关相对于单体开关的灵活性,上位机的管理协调性能是关键。结合系统本身在硬件架构和使用环境的分级分布性特点,考虑到Agent具有自治、分布、适应、灵活、开放、动态等属性^[2],将Agent体系架构的思想引入到组合开关保护测控系统的设计中,不失为一种理想的选择。

1.1 系统的组织架构

在继电保护和Agent技术的结合中,如何构建Agent体系结构使其更加符合电力系统的应用环境,更能发挥Agent在分布式系统应用中的优势是一个关键的问题。通常,有以下两种思路,一是构造结构复杂、知识丰富和功能强大的单Agent系统;二是用多个结构和功能相对简单的Agent组成一个MAS,通过多个Agent间的协作,使整个系统具有丰富的知识和强大的功能。

根据组合开关系统分级分布的特点,构造一种与其硬件结构相匹配的分层分布的MAS体系架构,每一层的Agent按照其各自的功能进行划分。整个MAS系统分为三层:管理层、协作层、执行层^[4],其系统框架如图2所示。

该MAS系统的管理层由组合开关的上位机软硬件系统构成,从全局的角度对组合开关保护测控系统进行规划,对各开关之间的交互进行协调配合,

起到统筹全局的作用。各开关处于协作层的各功能Agent与管理层进行交互,从执行层获取本开关控制设备运行的实时数据,判断本开关设备的运行状态并实时更新相应参数,完成控制、实时监测和保护的功能,同时,向执行层发送动作指令。执行层位于最底层,通过与协作层及外部环境的交互,上传系统运行的实时数据,获取动作信息,直接作用于外部环境。由图2可知,该MAS系统在组织上是分层的,而在控制上则是分布的^[4],各开关的功能Agent分别处于协作层和执行层,因而对每一个开关来说,其MAS体系结构的分层和分布是交错的,这样就从系统结构的层面上为各Agent的自治性和社会性提供了可能性。

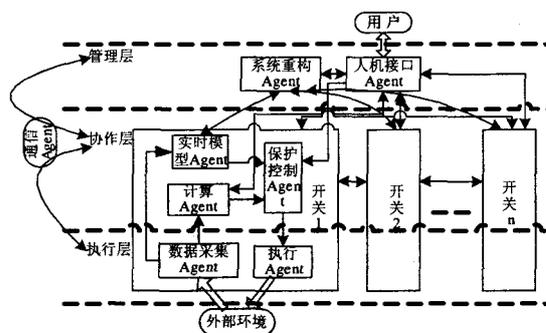


图2 MAS系统框图

Fig.2 Structure of MAS

1.2 各Agent的功能与实现

图2中,各Agent是按功能划分的,它们分别代表着完成各种任务的软件模块。

1) 数据采集Agent

数据采集Agent是系统与外界环境交互的接口,在本系统中主要负责两类数据的采集,一类是电流、电压和附加直流漏电回路的电压信号,其通过前向通道送入A/D转换器,再将所得的数据送入计算Agent;另一类数据是通过感知各开关量的状态(继电器状态,主回路状态),将该数据信息送入实时模型Agent。

2) 计算Agent

计算Agent接收来自数据采集Agent的实时电流电压信号数据,通过搜索其知识库(知识库由先验的计算公式组成),计算出实际电流、电压、功率及功率因素等参数,并将这些数据送入保护Agent和人机接口Agent中。

应用中,应注意计算过程中的校准问题。因本MAS系统采用管理层统一协调管理,各保护Agent又独立自治地完成各自的控制与保护。由于系统保

护的整定值是通过管理层的人机接口 Agent 配置的, 该值是唯一的, 而对于各保护 Agent 来说, 虽然它们的前向采样通道和 A/D 采用的硬件配置和参数使用是一致的, 但在信号处理过程中的衰减难免产生不一致, 这样就可能导致相同的整定值对不同保护开关的动作值不一致, 如图 3 所示。

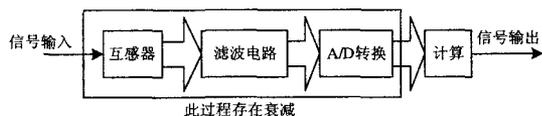


图 3 信号衰减过程示意图

Fig.3 Process of signal attenuation

假设对于某一保护开关, 信号输入标准电压信号 1 V, 经过图示过程, 计算 Agent 通过初始先验公式库, 计算得到实时数据送到人机接口 Agent, 显示为 0.8 V, 则此时该开关的衰减率为 1/5, 因此在试验过后, 应修改该计算 Agent 的知识库, 在原先计算公式的基础上再乘上一个校验系数 $K=1/(1-1/5)=5/4$, 由此得到的计算结果就是衰减补偿过后的结果。

对所有保护开关分别做一次上述的试验, 得到各自开关的校验系数, 修正各自的计算 Agent 知识库的计算公式, 这样可以避免上述的各保护开关共用一套整定值出现的问题, 从而能正确地实现本 MAS 系统的统一管理、分级自治的思想。

3) 实时模型 Agent

实时模型 Agent 接收数据采集 Agent 传来的开关量状态数据, 判断本地开关的状态, 把本地状态信息上传至管理层的系统重构 Agent, 并定时接收系统重构 Agent 发出的系统全局的实时模型数据, 然后与保护控制 Agent 交互, 作为控制保护 Agent 的一个输入信息, 根据保护控制规则, 对系统模型进行实时更新。

4) 保护控制 Agent

保护控制 Agent 是每个开关的核心部件, 也是其决策部件。保护控制 Agent 主要完成两个方面的保护控制任务, 一方面是接收计算 Agent 传来的系统运行的实时数据, 与人机 Agent 传来的整定值比较, 根据保护控制 Agent 知识库里的保护判据, 对本开关进行短路、断相、过载等保护判断; 另一方面, 保护控制 Agent 接收实时模型 Agent 传来的系统实时模型信息, 判断本机是否处于组合运行模式, 若是, 再判断与本机处同一组合模式下的其他开关的运行状态, 若存在故障分闸, 则保护 Agent 得到发生组合方式故障的判断结果。最后, 将保护判断

Agent 的综合判断结果送入执行 Agent。

5) 系统重构 Agent

系统重构 Agent 是整个 MAS 的核心, 通过系统重构 Agent 与各开关的实时模型 Agent 的交互, 对系统进行全局性的规划和重构。在开机前, 用人机接口 Agent 的运行模式信息对系统重构 Agent 进行初始化, 系统重构 Agent 将初始的启动信息传给各开关的保护控制 Agent, 完成开机过程。在系统运行过程中, 系统重构 Agent 接收由各开关实时模型 Agent 传来的各开关的本地状态信息, 定时刷新系统当前全局运行的实时模型, 并将该全局信息传给各开关的实时模型 Agent。当系统中某一开关发生故障分闸时, 该开关的实时模型 Agent 实时地将本地分闸状态信息上传给系统重构 Agent, 系统重构 Agent 根据其知识库中重构算法, 对系统进行全局的重构, 最大程度地保证系统的稳定运行。

6) 人机接口 Agent

人机接口 Agent 作为该系统与用户交互的接口, 接收用户对系统的保护整定和运行模式配置, 以数据通信的形式将用户的任务传给各开关, 并接收各开关上传的实时运行数据, 在液晶显示屏上显示系统的运行信息。

7) 执行 Agent

执行 Agent 接收保护控制 Agent 的保护控制判断结果, 结合 Agent 内部的故障处理知识库的故障处理规则, 针对不同的故障类型对各控制继电器进行分合闸或闭锁, 从而完成对系统的控制和保护。

8) 通信 Agent

通信 Agent 在本系统中充当着移动 Agent 的角色, 负责各 Agent 之间的数据的传送。在图 2 框图中, 为简化起见, 仅画出一个通信 Agent 做示意, 实际上它存在管理层与协作层上的 CAN 总线通信、A/D 转换数据到计算 Agent 之间的 SPI 通信、管理层上 EEPROM 读写的 I2C 通信以及所有软件进程当中的数据传递。

2 矩阵算法在系统辨识和重构的研究

系统辨识和重构的目的在于最大程度地保证系统运行的稳定性, 即一台开关设备发生故障, 必须切除与之有组合关系的所有开关且不影响与之没有组合关系的开关设备的稳定运行。

将矩阵算法引入到管理层的系统辨识和重构中, 目的是加快辨识速度, 同时提高上位机软件的通用性, 真正实现组合开关的任意组合。其基本思想是将以往从故障开关序号角度出发改为从构成组合运行模式逻辑意义上的节点的角度出发去构造软

再由规则 2, 进行节点-节点-节点之间传递, 由 $C_2=C_1 \otimes C_1$, 得到新的节点-节点连通矩阵

$$C_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

重复以上运算, $C_3=C_2 \otimes C_2$, 再次得到新的节点-节点连通矩阵

$$C_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

可见 C_3 与 C_2 完全相同, 因此计算不必再往下进行, 矩阵 C_3 已把网络中节点间所有的连通关系表示出来了, 因此网络中的节点分为以下几组: 节点 a、b 为一组, 节点 c、d 为一组, 节点 e、f、g 为一组, 节点 h、i、j 为一组。

到此为止, 通过矩阵算法, 已经很明显地把组合开关系统当前的状态表示出来了, 系统重构 Agent 辨识出当前的网络拓扑连接, 将该结果同其初始化的值作比较, 感知节点 d、e 之间不连通, 从而实时激活通信 Agent, 把当前的全局系统模型发给各开关的实时模型 Agent, 2、4、5 号开关的保护 Agent 通过与各 Agent 交互, 判断出它们与发生故障的 d、e 节点有组合关系, 从而各自向执行 Agent 发出故障判断, 进行配合性的故障分闸保护。1、6、7 号开关与 d、e 节点无关, 继续稳定运行。

通过矩阵算法辨识与重构系统, 直接的优点就在于极大地提高了系统软件的通用性, 避免了参与组合运行模式的开关序号改变而对程序进行大量繁重的修改, 真正做到了组合开关的任意组合。

3 实例论证

以下根据实验室科研项目“ZW1140/660/380 智

能矿用兼本质安全型组合开关”为例对本文所述方法进行论证。

3.1 系统实现

硬件方面, 采取较为先进的多 CPU 系统结构, 上位机采用 32 位的 ARM7 核心的 LPC2292 微处理器平台, 外围配以液晶显示、键盘、时钟电路、远控先导回路及通信接口电路, 下位机采用 16 位的 DSPIC30F6015 微处理器平台, 外围配以前向采样通道电路、PLL 电路、A/D 转换电路、分/合闸控制电路、漏电测试电路及通信接口电路, 考虑到实际应用中的具体情况, 上下位机之间采用 CAN 总线接口连接。

软件方面, 基于源码公开的嵌入式 uC/OS 操作系统平台, 使用 C 语言编写。根据本文所述的软件设计方法, 将各功能 Agent 作为操作系统的各个任务, 如此使任务和线程准并行地运行, 能很好地实现 MAS 并发挥其优越性。同时, C 语言的位运算功能也为矩阵算法的实现提供了极大的便利。虽然矩阵 A 和 C 的存储量是 $m \times n$ 和 $m \times m$, 但用 C 语言实现时, 可把一个字与 16 位的位结构作为共用体, 这 16 个位与 16 条支路 (或节点) 对应, 从而一个 $m \times n$ 矩阵可用 $m \times (n/16+1)$ 个字表示^[6]; 另外, 充分利用 C 语言字之间的按位“与”运算功能, 能方便地实现矩阵行间“与”运算。

3.2 系统试验

表 1 实验室条件下的试验结果

Tab.1 Test result under lab condition

故障类型	动作值		动作时间		
	设定值	实际值	设计值	实际值	
短路	8~12 倍 (默认 8)	8 A	200~400 ms	瞬动	
过载	≤1.05 倍	1 A	∞	不动作	
	1.05~1.20	1.10 A	5 min~20 min	18 min	
	1.20~1.50	1.35 A	1 min~3 min	2 min	
	1.50~2.00	1.75 A	30 s~1 min	50 s	
	2.00~6.00	5 A	8 s~16 s	8 s	
断相	任两相 1.05 倍, 一相为 0	$i_a=1.05 A$ $i_b=1.05 A$ $I_c=0 A$	≤3 min	12 s	
	相不平衡	任两相额定, 一相 0.9 倍	$i_a=1 A$ $i_b=1 A$ $I_c=0.9 A$	≤2 h	95 min
		过压	>1.25 U_N	50 V	≤1 s
欠压	<0.7 U_N	20 V	≤5 s	3 s	

限于实验室的配置, 系统试验采用模拟方法进行^[8]。其中 1140V/660V/380V 电网电压采用调压变压器实现, 通过隔离变压器形成中性点不接地供电

电源,电动机工作电流和短路电流通过 XD1352B 型继电保护测试仪和 XD1352C 型微电脑移相器提供,电网绝缘水平通过人为加设漏电阻进行模拟。

整个系统试验项目包括控制功能试验、保护功能试验、无故障运行试验。其中保护功能试验是系统试验的核心,包括整定值检测、漏电闭锁检测、合闸后的短路、过载、断相、过/欠压等试验。

根据组合开关测控保护系统 A/D 器件、前向通道电阻参数、小 CT 变比,确定模拟输入的额定电流 $I_N=1\text{ A}$,实际额定电流可通过测控保护系统板外的大 CT 变比选择而达到;根据板外主回路变压器变比的设置,确定模拟输入的额定电压 $U_N=36\text{ V}$ 。从而,组合开关保护测控系统试验数据如表 1 所示。

3.3 试验结果分析

(1) 由于试验采取模拟方式,分合闸外接节点用直流继电器代替实际应用中的接触器,因而较之实际现场测试,本试验结果动作时间较短,但本试验中的实际取值普遍保守,因此,结果证明采用本文所述方法设计的组合开关保护测控系统还是合格可靠的,其各项参数符合国家标准。

(2) 由于上位机软件方面使用了矩阵算法对系统进行识别与重构,试验中,在总线上随意挂上少于 8 台的下位机开关,系统控制保护功能依然完好,无需重新更改、烧写程序,较之以前的磁力起动器设计,其软件通用性极大提高,真正实现了组合开关的任意组合。

(3) 基于高性能的 ARM 和 DSPIC 芯片的多 CPU 结构,以 uC/OS 操作系统实现 Agent 的调度,提高了系统的实时性和可靠性。

4 结论

本文在对 Agent 及多 Agent 技术初步研究的基础上,提出了一个基于多 Agent 的组合开关保护测控系统的模型,并以“ZW1140/660/380 智能矿用兼本质安全型组合开关”为例验证了该方法的可行性与优越性。与传统的低压继电保护系统相比,基于多 Agent 的保护测控系统更具有灵活性和适应性。文中提出的在组织上分层、在控制上分布的 MAS 模型特别适用于在硬件设计和使用环境带有分布性的组合开关上的应用,同时将矩阵算法引入到 MAS 管理层的系统辨识与重构中,极大地提高了系统软件的通用性,真正意义上实现了组合开关的任意组合。

参考文献

[1] Wooldridge M. 多 Agent 系统引论[M]. 北京:电子工业出版社,2003.

Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems[M].Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003.

- [2] 赵波,曹一家.多智能体技术在机组组合运行与管理分析中的应用[J].继电器,2005,33(8):27-31.
ZHAO Bo, CAO Yi-jia. Application of Multi-agent Technique to Unit Commitment Operation and Management Analysis[J]. Relay, 2005, 33(8):27-31.
- [3] 刘群英,刘天琪.基于 Agent 的电力系统控制协调的智能体架构[J].继电器,2004,32(17):84-88.
LIU Qun-ying, LIU Tian-qi. Intelligent structure of MAS-based Control Coordination of Power System[J]. Relay, 2004, 32(17):84-88.
- [4] 陈少华,陈璟华,杨宜民.基于多 Agent 技术的自适应继电保护系统研究[J].广东工业大学学报,2005,22(1).
CHEN Shao-hua, CHEN Jing-hua, YANG Yi-min. Study on Adaptive Protection System Based on Multi-agent[J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2005, 22(1).
- [5] 王成山,余旭阳.基于 Multi-Agent 系统的分布式协调紧急控制[J].电网技术,2004,28(3):1-5.
WANG Cheng-shan, YU Xu-yang. Distributed Coordinative Emergency Control Based on Multi-agent System[J]. Power System Technology, 2004, 28(3):1-5.
- [6] 王湘中,黎晓兰.基于关联矩阵的电网拓扑辨识[J].电网技术,2001,25(2):12-14,18.
WANG Xiang-zhong, LI Xiao-lan. Topology Identification of Power Network Based on Incidence Matrix[J]. Power System Technology, 2001, 25(2):12-14, 18.
- [7] 蒋秀洁,熊信银,吴耀武,等.改进矩阵算法及其在配电网故障定位中的应用[J].电网技术,2004,28(19):63-66.
JIANG Xiu-jie, XIONG Xin-yin, WU Yao-wu, et al. Improved Matrix Algorithm and Its Application in Fault Location of Distribution Network[J]. Power System Technology, 2004, 28(19):63-66.
- [8] 曹花容,刘忠富,宋建成.新型智能化组合式磁力控制站的设计[J].煤矿机电,2005,(4).
CAO Hua-rong, LIU Zhong-fu, SONG Jian-cheng. Design of New Intelligent Combined Magnetic Control Station[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2005, (4).
- [9] Tomita Y, Fukui C, Kudo H, et al. A Cooperative Protection System with an Agent Model[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1998, 13(4).
- [10] Wong S K, Kalam A. An Agent Approach to Designing Protection Systems[A]. In: Developments in Power System Protection[C]. 1997.

收稿日期:2007-04-05;

修回日期:2007-08-09

作者简介:

陈柯耿(1982-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统微机保护与监测监控;E-mail:xiaoke0703@163.com

牟龙华(1963-),男,博士,教授,博士生导师。主要研究方向为电力系统微机保护、智能电器与电能质量。