

基于多 Agent 技术的自适应继电保护系统研究

陈少华,陈耀华,杨宜民

(广东工业大学 自动化学院,广东 广州 510090)

摘要:在分析常规保护存在缺陷的基础上,提出了基于多 Agent 技术的自适应继电保护方案,并且构建了保护的体系结构和功能模型.介绍了多 Agent 技术在自适应电流保护中的应用,并采用 PSCAD/EMTDC 对此方案进行仿真,验证其可行性.

关键词:多 Agent;自适应继电保护;电力系统

中图分类号:TM714.2

文献标识码:A

文章编号:1007-7162(2005)01-0078-05

引言

继电保护在电力系统中占有及其重要的地位,其性能关系到整个电力系统的传输容量和安全运行的灵活性及可靠性.但是常规继电保护存在的一些问题一直没有得到很好的解决,例如继电保护的整定值按系统最大运行方式整定,并且在运行中保持不变,因此无法适应系统的动态特性;后备保护整定时间过长,容易造成系统的发展性故障等.这些固有的缺点不仅影响了电网运行的灵活性而且降低了电网运行的稳定性.

自适应保护是在 20 世纪 80 年代提出的一个较新的研究课题,随着计算机技术、通信技术和人工智能技术在电力系统中的推广和应用,使得自适应继电保护的实现已成为可能.所谓自适应继电保护是指能根据电力系统运行方式和故障状态的变化而实时改变保护性能、特性或定值的保护.这种新型保护的出现引起了人们极大的兴趣和关注^[1,2].

虽然自适应继电保护的研究已经开展多年,并且也取得一定的成果,但是现有自适应继电保护尚未充分利用计算机的潜在智能和电力系统固有的分布性来构筑保护系统.随着分布式人工智能(DAI)技术的一个分支——多 Agent 系统(MAS)在电力系统中的应用^[3~8],本文提出一种基于多 Agent 技术的自适应保护系统,用于改进现有保护系统的缺陷,使保护更趋完善.

1 基于多 Agent 的自适应保护系统结构设计

1.1 基于 MAS 的自适应保护系统的组织结构

根据保护系统固有的分布性特点,建造一种分层分布式的混合型组织结构,各 Agent 按照各自承担的职责采用分级分布,整个多 Agent 系统在组织结构上是分层的,在控制上是分布的.

采用这种方案构建保护系统,其结构共分为 3 层:最高层是组织层,最底层是执行层,中间层是协作层.执行层位于最底层,可以对系统运行状态的变化迅速做出反应.当系统出现故障或者不正常运行状态时,执行层能接收中间层发出的指令进行跳闸操作或者发出警告信息.执行

收稿日期:2004-04-07

基金项目:广东省教育厅自然科学基金项目(Z02033)

作者简介:陈少华(1952-),女,教授,主要研究方向为智能型电力系统继电保护.

层的响应时间非常短,因此非常适合输电网络不断变化的实时环境.在继电保护系统中,执行层主要是由数据采集装置和断路器等组成.通过通信网络,协作层可以和执行层进行交互,接收底层的数据对其进行相应的计算,以此作为判断系统是否发生故障的依据,并且可以根据系统拓扑结构的变化,对电力系统模型进行实时更新,对保护的定值进行在线整定.当系统出现异常或不正常运行状态时,协作层通过通讯原语可以将动作信号传送至执行层.组织层位于多 Agent 系统中的最高层,从全局整体的角度对保护系统进行规划,对 Agent 之间的矛盾冲突进行协调和修正.当系统结构发生变化或断路器故障跳闸后,对网络的拓扑重新进行构建,并以一定方式显示给运行人员.

1.2 基于 MAS 自适应保护系统设计和各 Agent 的功能

根据以上的分析,构建一个基于 MAS 的自适应保护系统,其结构如图 1 所示.多个 Agent 采用分级分布,对应不同层次的任务.系统中每个 Agent 都是具有独立求解能力的个体,具有很高的灵活性和自主性,Agent 这种无需外界干预的自主决策能力提高了整个保护系统的可靠性、灵活性和自适应性.

为了实现整个系统的协作保护,按照实现功能的不同,将 Agent 进行分类,Agent 可大可小,但组成多 Agent 系统的每个 Agent 都有自己功能和目标.

执行层由 CT、PT 数据采集 Agent 和执行 Agent 组成.其中,CT、PT 数据采集 Agent 可以实时采集被保护设备的电流值、电压值和相角等,进行预处理后传送给计算 Agent;执行 Agent 根据判断 Agent 和保护 Agent 发送的信息,发出相应的跳闸信号或告警信息.

协作层由计算 Agent、实时模型 Agent 和保护 Agent 组成.计算 Agent 根据数据采集 Agent 传送的实时信息,计算出判断系统运行状况所需的值,并将计算结果传送给实时模型 Agent 和保护 Agent;实时模型 Agent 通过和系统重构 Agent 及其它子系统的交互,根据系统的运行状态,对系统模型进行实时更新,对保护的定值进行在线自适应调整,并将重新整定的结果发给保护 Agent;按保护原理的不同,每个保护子系统的保护 Agent 由差动 Agent、距离 Agent、过流 Agent、接地 Agent、电流速动 Agent 等组成,根据不同的保护对象,保护系统内部进行协调,确定每套装置的主保护 Agent 和后备保护 Agent,并且根据接收的信息,将计算 Agent 的计算结果和实时模型 Agent 的整定值进行比较,判断系统是否发生故障或者不正常运行状态,按照选择性和可靠性的要求选择合适的 Agent 发出相应的自适应控制信号.

组织层主要由系统重构 Agent 组成,其主要功能包括从全局整体的角度对保护进行规划,当系统结构发生变化或开关变位后,对网络的拓扑重新进行调整,并以一定方式显示给运行人员.并利用通信网络,和其它外部子系统进行信息交互,使得保护装置不仅能反应本子系统的电气量,而且能够共享全系统的运行和故障信息,各个保护单元在分析这些数据的基础上协调动作,提高整个系统的可靠性和灵活性.

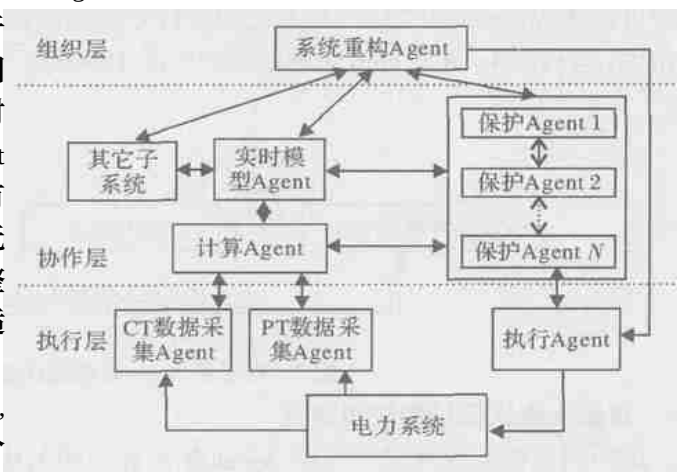


图 1 基于 MAS 的自适应保护系统结构

1.3 基于 MAS 自适应保护系统的控制方式

电力系统保护实质上属于电力系统自动控制的范畴,它的作用是切除发生故障的设备以保证系统的正常运行.但是常规的继电保护,每个继电器只能采集保护安装处电气量,无法了解系统其它的运行状态信息,而且保护整定值采用离线计算获得,在运行中保持不变,因此常规继电保护和电力系统构成的是一种开环断续控制^[9].而本文构建的基于多 Agent 技术的自适应继电保护系统,保护 Agent 不仅能反应保护安装处的信号和数据,而且通过和其他保护子系统的通信和交互,可以共享整个保护系统运行和故障的信息和数据,这样,各保护 Agent 在分析这些信息和数据的基础上协调动作,使得保护子系统对于故障的位置的判断和故障距离的检测更为准确.同时,通过交互,各保护子系统的实时模型 Agent 可以获得全系统的信息 and 数据,这样保护可以在线修改保护定值,对系统的运行方式和故障状态实现自适应调整.因此从控制系统的角度,基于多 Agent 的自适应继电保护实质上构成了一个具有反馈的闭环控制系统,如图 2 所示.



图 2 基于多 Agent 自适应保护的反馈控制

1.4 自适应电流保护的决策算法

由不同保护原理构成的保护 Agent 有各自不同的决策算法,这里以电流速断保护 Agent 为例,说明采用自适应决策算法后的保护系统优于常规保护的地方^[2].

1.4.1 常规电流速断保护

由于电流速断不带时限动作,因此从保护的选择性出发,电流速断的定值按躲开下一条线路出口处的最大短路电流 I_{Dmax} 整定,表示为

$$I_{dz} = k_k I_{Dmax} = \frac{k_k E}{Z_{smin} + Z_L}, \quad (1)$$

式中: I_{dz} 为速断的整定值; E 为系统的等效电源的相电势; Z_{smin} 为保护安装处到系统等效电源之间的最小阻抗; Z_L 为保护线路的阻抗; k_k 为可靠系数, $k_k = 1.2 \sim 1.3$.

设在线路 αZ_L (其中 $0 \leq \alpha \leq 1$) 处短路,则短路电流为

$$I_F = \frac{k_d E}{Z_s + \alpha Z_L}, \quad (2)$$

式中: Z_s 为保护装设处到系统等效电源之间的实际阻抗; k_d 为故障类型系数.

令式(1)和式(2)相等,求出在实际运行方式下电流速断的保护范围 α 为

$$\alpha = \frac{k_d (Z_{smin} + Z_L) - k_k Z_s}{k_k Z_L}. \quad (3)$$

1.4.2 自适应电流速断保护

为克服传统电流速断的缺点,对常规的电流整定算法进行改进,使得保护的定值随系统运行方式和短路类型的实际情况而改变,其电流整定值表示为

$$I'_{dz} = \frac{k_d k_k E}{Z_S + Z_L} \quad (4)$$

要使保护的定值按式(4)整定,系统必须实时测定故障类型系数 k_d 和阻抗 Z_S ,在此基础上,令式(4)与式(2)相等,求得自适应电流速断的保护范围 α 为

$$\alpha' = \frac{Z_L - (k_k - 1) Z_S}{k_k Z_L} \quad (5)$$

式(5)表明, α 不是常数,它随着实际系统 Z_S 的变化而变化。

将式(3)与式(5)进行比较可得

$$\alpha' = \frac{(Z_L + Z_S - k_k Z_S) \alpha}{k_d (Z_L + Z_{Smin}) - k_k Z_S} \quad (6)$$

由于 $k_d \leq 1$, 所以有 $k_d (Z_L + Z_{Smin}) \leq Z_L + Z_S$, 因此 $\alpha' \geq \alpha$ 。因此与传统电流速断保护相比,自适应电流保护的性能得到显著提高。

2 仿真

选取如图 3 所示的系统作为仿真对象,利用 EMTDC/PSCAD 对该系统进行仿真研究,验证基于多 Agent 自适应保护系统的可行性。其中系统的 $Z_{Smin} = 5 \Omega$, $Z_{Smax} = 9 \Omega$, 线路阻抗 $Z_0 = 0.32 \Omega / \text{km}$, $k_k = 1.2$ 。

仿真试验 1,假设 $t = 0.2 \text{ s}$ 时,距 M 侧 12 km 的 f_1 处发生最小运行方式下的三相短路,其中 QF_1 的电流速断和限时电流速断的配合时限为 $\Delta t = 0.35 \text{ s}$ 。根据式(3), QF_1 常规电流速断保护范围为线路 MN 全长的 33% (最远端距 M 侧 9.9 km), f_1 点故障时,故障点超出了 QF_1 的

电流速断保护范围,所以 f_1 点故障时,由 QF_1 的保护 II 段经过 0.35 s 的延时,在 $t = 0.55 \text{ s}$ 时将故障切除,断路器 QF_1 的动作特性曲线如图 4 的 (a) 所示。而采用基于多 Agent 的自适应电流保

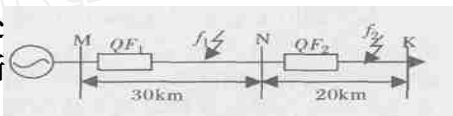
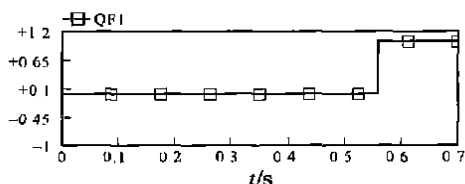
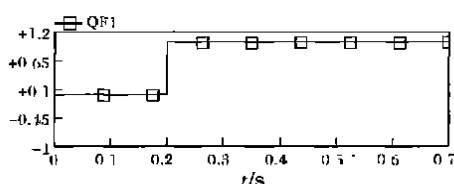


图 3 系统接线图



(a) 常规保护下



(b) 多 Agent 保护下

1 表示 QF_1 断开, 0 表示 QF_1 闭合

图 4 f_1 点故障时 QF_1 的动作情况

护,根据式(5)的自适应算法,其保护范围为线路 MN 全长的 68% (最远端距离 M 侧 20.4 km), 因此 f_1 故障时,故障点位于 QF_1 的 I 段保护范围内,保护 Agent 检测到故障后迅速发出跳闸指令,在 $t = 0.2 \text{ s}$ 时将故障切除,断路器的故障特性曲线如图 4 的 (b) 所示。因此,与常规保护相比,基于多 Agent 的自适应保护,能够根据系统的实际运行方式调整保护定值,扩大保护的 I 段动作范围,改善保护系统的性能。

仿真试验 2,假设 $t = 0.1 \text{ s}$ 时,距 N 侧 9 km 处 f_2 点,系统发生最小运行方式下的三相短路,其中 QF_1 和 QF_2 的后备保护配合时限为 $\Delta t = 0.5 \text{ s}$ 。根据式(3)和式(5)知 f_2 点位于 QF_2 的常规和自适应电流速断保护范围内。假设 QF_2 拒动,针对这种情况,常规保护在 $t = 0.6 \text{ s}$,由 QF_1 的

Ⅱ段过流保护跳开 QF_1 , 将故障切除, 其 A 相电流曲线如图 5 的 (a) 所示. 而基于多 Agent 的保护, 计算 Agent2 通过和实时模型 Agent2 的整定值进行比较后发现系统出现故障, 立即向保护 Agent2 发送消息, 经过 0.1 s 的故障切除时间, 如果计算 Agent2 检测故障仍存在, 初步判断 QF_2 拒动, 因此保护 Agent2 向保护 Agent1 发送消息请求协助, 并最终由执行 Agent1 在 0.36 s 将故障切除, 其 A 相电流曲线如图 5 的 (b) 所示. 因此, 与传统保护相比, 基于 MAS 的自适应保护通过 Agent 之间的协作, 可以大大缩短后备保护的动作时间.

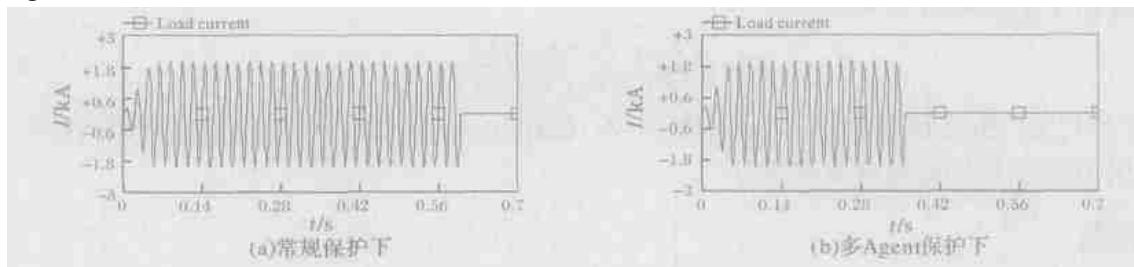


图 5 f_2 点故障时 A 相电流曲线

3 结论

本文提出了基于多 Agent 的自适应继电保护, 构建了保护系统的基本框架, 并对系统的自适应整定功能及 Agent 之间的协作关系进行了仿真. 结果表明, 通过多 Agent 的协调和配合, 可以实现定值的在线修改, 缩短后备保护的动作时间, 改善保护系统的性能. 尽管多 Agent 技术和自适应技术在继电保护系统中应用尚属理论研究阶段, 但随着微机保护和人工智能技术的不断发展, 相信他们会有很好的应用前景.

参考文献:

- [1] 葛耀中. 自适应继电保护及其前景展望[J]. 电力系统自动化, 1997, 21(9): 42-46.
- [2] 葛耀中, 赵梦华, 彭鹏, 等. 微机式自适应馈线保护的研究和开发[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(3): 19-22.
- [3] 陈艳霞, 尹项根, 张哲, 等. 基于多 Agent 技术的继电保护系统[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(12): 48-53.
- [4] Yasushi Tomita, Chihiro Fukui. A Cooperative Protection System with an Agent Model[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1998, 13(4): 1060-1066.
- [5] Coury D V, Thorp J S, Hopkinson K M, et al. Improving the Protection of EHV Teed Feeders Using Local Agents[A]. In: IEE Seventh International Conference on Developments in Power System Protection. Amsterdam (Netherlands): 2001. 527-530.
- [6] Coury D V, Thorp J S, Hopkinson K M, et al. Agent Technology Applied to Adaptive Relay Setting for Multi-terminal Lines[A]. In: IEEE Power Engineering Society Summer Meeting (Vol. 2). USA: Seattle, 2000. 1196-1201.
- [7] S K Wong, A Kalam. Development of a Power Protection System Using an Agent Based Architecture[A]. In: Proc of International Conference on Energy Management and Power Delivery. USA: Columbus, 1995. 433-438.
- [8] S K Wong, A Kalam. Distributed Intelligent Power System Protection Using Cased Based and Object Oriented Paradigms [A]. In: Proc of International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems. UK: Nottingham, 1996. 74-78.
- [9] 曹国臣, 韩蕾, 祝滨. 大电网分布式自适应继电保护系统的实现方法[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(13): 19-22.

(下转第 87 页)

台,实现了嵌入式系统与 Internet 的结合.由于 Linux 的强大多任务处理功能,使得表计采集器可以连接更多总线和电表路数,大大提高了现场抄表的效率,电力自动抄表系统整体性能有了大幅提高.可以预见,代表计算机领域发展方向的嵌入式 OS(Operating System)技术,将在电力系统中发挥越来越大的作用.

参考文献:

- [1]周明,李军,赵辉.基于嵌入式 Linux 的无线互联网的实现[J].天津理工学院学报,2003,19(3):39-41.
- [2]ALESSANDRO RUBINI&JONATHAN COR 著.LINUX 设备驱动程序[M].魏永明,骆刚译.北京:中国电力出版社,2002,25-29.
- [3]高梅素.Linux 操作系统中的 PPP 通信[J].电子计算机,1999,12(6):20-23.
- [4]唐建东.嵌入式操作系统 Linux 中的串口应用编程[J].单片机与嵌入式系统应用,2002,2(8):82-84.

Automatic Meter Reading Device through GPRS Based on Embedded Linux

ZHANG Xue-xi

(Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: This paper introduces a project of automatic meter reading device for electric power based on Linux, which is made up of MPC860 and wireless communication module. It promotes the level of meter reading through GPRS to transmit data.

Key words: automatic meter reading; embedded Linux system; GPRS; meter task

(上接第 82 页)

Study on Adaptive Protection System Based on Multi-agent

CHEN Shao-hua, CHEN Jing-hua, YANG Yi-min

(Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: According to the analysis of conventional protection's merits, a MAS based on adaptive protection system is presented. The architecture and function model of the system is constructed. Served as an example, a scheme of the current protection using agent technology is introduced. The PSCAD/EMTDC's simulation results verify the validity of the proposed scheme.

Key words: Multi-agent system (MAS); adaptive protection; power system