

可介入式励磁控制器的研究与设计

杨凯¹, 王少荣², 于海³

(1. 四川省电力公司通信自动化中心, 四川 成都 610041; 2. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074;
3. 河南电力公司新乡供电公司, 河南 新乡 453002)

摘要: 探讨目前的励磁控制器难以适应电网运行方式大幅度变化的原因, 阐述电力系统的运行方式可以短期预测的特性, 进而提出可介入式励磁控制器。所提出的可介入式励磁控制器与调度中心建立直接联系, 调度中心根据电网运行方式, 离线制定励磁控制策略, 从全局角度出发, 在线更新励磁控制器内部程序, 以适应电网不同的运行方式。文中给出了一种可介入式励磁控制器的实现方案, 并通过 Matlab/Simulink 仿真, 验证了可介入式励磁控制器在提高电力系统稳定性方面的有效性。

关键词: 励磁控制器; 可介入式; PSS; TMS320F2812; Matlab/Simulink 仿真; 单片机; ISA 总线

Design and analysis of interventional excitation controller

YANG Kai¹, WANG Shao-rong², YU Hai³

(1. Sichuan Power Corporation Communication and Automation Center, Chengdu 610041, China;
2. College of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;
3. Xinxiang Power Supply Company of Henan Electric, Xinxiang 453002, China)

Abstract: The current excitation controller can't adapt to the large variation of the power system operating mode, the reason for that is discussed. Based on the characteristic that the power system operating mode can be predicted for a short term, a novel excitation controller named with interventional excitation controller is presented. The proposed interventional excitation controller can directly communicate with the Dispatching Center, the Dispatching Center can establish the excitation strategy based on short-term prediction of the power system operating mode offline, and then update the program of the excitation controller online from overall situation. Thus the global optimization excitation control can adapt to the large variation of the power system operating mode. A kind of design scheme of the proposed interventional excitation controller is presented, moreover, the simulation using Matlab/Simulink is carried out, and the effectiveness of enhancing the power system stability is validated.

Key words: excitation controller; interventional; TMS320F2812; Matlab/Simulink simulation; single-chip; ISA bus

中图分类号: TM761 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)24-0068-04

0 引言

励磁控制器是同步发电机的核心控制部件, 除了具有维持机端电压恒定、合理分配并联机组间无功功率的基本功能之外, 还对电力系统的安全稳定运行有着重要影响。作为对电网稳定运行最经济有效的控制手段, 励磁控制器的研究一直受到广泛关注。目前, 常规励磁控制器应用最为广泛, 而自适应控制和最优控制等新型控制策略在励磁系统中也已投入使用。常规励磁控制器采用 PID 控制策略, 结构简单, 响应迅速, 稳态效果好, 且具有一定鲁棒性。但常规励磁控制器是基于发电机额定运行点的线性化模型设计的, 不能很好适应电力系统运行方式的变化。为解决这一问题, 随后出现了自适应

励磁控制器和线性最优励磁控制器。自适应控制需要在线识别系统参数, 算法复杂且计算量大。最优励磁控制规律是状态量的最优线性组合, 虽然能有效抑制低频振荡, 但由于设计原因, 其稳态性能却不如常规励磁控制^[1], 并且最优只是局部最优, 各输入量对最优指标的影响程度也是人为凭经验设定的, 因此最优控制也不能完全适应电力系统运行方式大幅度的变化。模糊自适应控制和基于遗传算法最优励磁控制等方法^[2,3], 试图摆脱对被控系统精确数学模型的依赖。然而, 这些方法存在着过早收敛, 算法复杂, 计算量大等缺点, 也不能完全满足励磁控制器实时控制的要求。电力系统是一个机组间存在耦合的高阶非线性大规模系统。上述各种励磁控制算法仅依据发电机端局部信息实施励磁控

制,必然缺乏协调性和对系统运行方式的适应性。为解决这一问题,本文提出可介入式励磁控制器这一新概念。可介入式励磁控制器利用全局信息辨识电力系统的运行状态,根据电力系统运行状态实时调整励磁控制器的策略和参数,以提高励磁控制器的适应性。

1 可介入式励磁控制器概念

运行经验表明,结合历史数据、天气等因素所进行的电网短期负荷预测(一般是次日负荷预测)是可信的。基于短期负荷预测结果,可制定出机组发电计划、联络线功率交换计划和地区负荷计划等运行方式计划。如果从电网运行方式计划中找出所有阶段性的运行方式(比如峰谷负荷下的运行方式),并基于这些运行方式下的电网线性化模型,制定励磁控制策略并优化控制参数,形成不同运行方式下的励磁控制策略组。这些励磁控制策略组可离线计算,提前下载到励磁控制器中。在运行中,当调度中心监测到系统运行方式与预测的阶段性方式相符时,发出指令,在线切换同步发电机的励磁控制策略,以取得该运行方式下的最佳控制效果。用这种思想改进常规励磁控制器,既能保持其原有优点,又能使其具有适应电力系统运行方式大幅度变化的能力。

本文称这种励磁控制器为可介入式励磁控制器。“可介入”源于医学术语,是指一种深入病灶的治疗方式。可介入式励磁控制器意指允许调度中心根据全网运行方式深入励磁控制器内部在线修正或更新控制策略,以提高励磁控制的适应性和协调性。

在电力系统中,微机型励磁和数字通信的应用已非常成熟和普遍,已经具备了实现可介入式励磁控制器的基本条件。

2 可介入式励磁控制器设计

2.1 总体设计

可介入式励磁控制器首先要确保励磁控制的基本功能,再加上对通信网络有较高的要求,因此功能模块较多。为了保证可靠性和便于开发,可介入式励磁控制器采用基于ISA总线多CPU板卡结构。

ISA总线的数据宽度为16位,工作频率为8MHz,最大数据传输速率为16Mbit/s。因结构简单,可靠性高,在工业控制领域有很广泛的应用。可介入式励磁控制器共有5个CPU,每一个CPU实现一个功能模块。ISA总线做成背板,功能模块做成插件板。可介入式励磁控制器结构如图1所示。

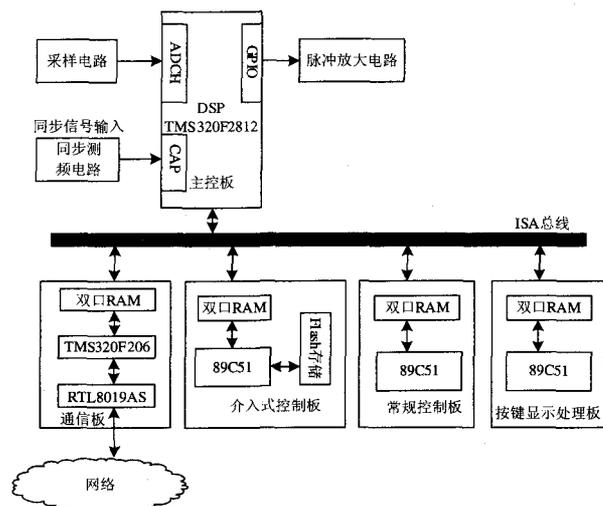


图1 可介入式励磁控制器结构

Fig.1 Structure of interventional excitation controller

可介入式励磁控制器的插件板主要有:

①主控板。该插件板是控制器的中枢,负责采集发电机运行参数、输出输出电压差(数值)以及控制总线。采用32位定点数字信号处理器TMS320F2812作为CPU,该芯片内部集成了16通道12位AD转换器。采用该器件可简化硬件电路。

②可介入式控制板。负责形成励磁控制策略,采用简单可靠的89C51单片机作为CPU。该板的主程序放在单片机的片内ROM中,晶闸管控制角计算程序放在Flash芯片中。晶闸管控制角计算程序可在线更新。

③常规控制板。实现常规励磁控制策略,结构和可介入式控制板类似。程序不能更新,作为可介入式控制板的热备用,在可介入式控制板程序更新时投入使用。

④通信板。实现以太网通信,CPU采用DSP芯片TMS320F2406,配合高度集成的全双工以太网接口芯片RTL8019AS,这种配置是实现嵌入式以太网的成熟解决方案。

⑤按键处理及显示板。用于处理本地的按键输入和运行参数的本地显示。

2.2 内部数据交换

可介入式励磁控制器的这种多CPU总线式结构首先要解决板卡之间的数据交换问题。这里采用ISA总线和双口RAM构成数据交换接口,并采用内存映射^[4]的数据访问机制。具体实现为:

①主控板兼做总线控制器,拥有对总线绝对的、唯一的控制权,负责所有插件板的数据交换任务;

②每一块插件板上都有一个双口RAM,要实现

主控板对双口 RAM 的访问，首先要把插件板上的双口 RAM 映射到总线上，方法为：把板上双口 RAM 的选通信号作为插件板的物理地址，并与 ISA 总线中高位地址的译码输出信号线相连，双口 RAM 内部空间由总线中低位地址选择访问。

这样，插件板可以看成映射到总线上的内存块，对插件板的访问就像是在对主控板片外 RAM 进行访问。通过这种内存映射的方法，所有的插件板在主板看来都是一样的，主控板只需要对内存块进行操作，极大地方便了系统的开发。

内部数据交换是一种实时数据交换。励磁控制器以发电机的定子交流电压信号作为工作节拍，在每一个工作节拍内所有数据都要被交换一次。图 2 所示为内部数据交换的数据流。

2.3 网络通讯

除了建立在总线基础上的内部数据交换外，可介入式励磁控制器还有一种与调度中心进行的网络数据交换。网络数据交换是一种非实时的数据交换，用于下载励磁控制策略组和接收励磁控制策略切换的指令。通信协议采用裁剪过的 TCP/IP 协议。网络通讯模块主要负责收发数据和 TCP/IP 协议的解包和打包工作。表 1 为网络通讯模块应用层数据帧的结构。

表 1 应用层数据的帧结构

Tab.1 Framework of application layer

包头	包类型	序号	包长度	数据	校验码	包尾
----	-----	----	-----	----	-----	----

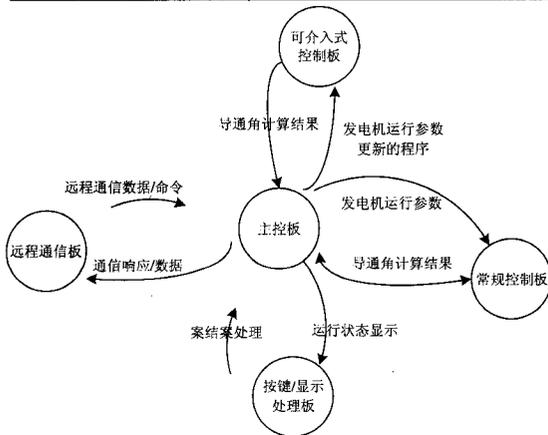


图 2 内部数据交换数据流

Fig.2 Data flow of internal data exchange

2.4 软件更新流程

可介入式励磁控制器的控制策略程序在更新时，不仅励磁控制不能中断且应保证平稳切换。在程序更新前需要将常规控制板切换至工作输出状态，切换前要先确认常规控制板的输出结果是否有效。当程序更新完毕后，也要确认新的控制策略程

序的计算结果是否有效。程序文件由远程通讯板下载，并存放在本地板的双口 RAM 中，主控板随后把它移动到可介入式控制板的双口 RAM 中。这个过程对可介入式控制板是透明的，只有主控板控制切换完毕，设置握手标志位后，可介入式控制板才退出运行，将双口 RAM 中的程序拷贝至 FLASH 中的指定区域。程序更新流程如图 3 所示。

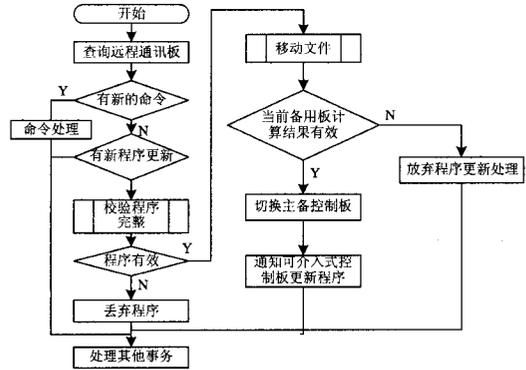


图 3 程序更新流程

Fig.3 Flowchart of program update

3 数字仿真验证

合理配置 PSS，可有效抑制电力系统的低频振荡^[1,5]。可介入式励磁控制器的控制策略修改可以有很丰富的内容，其中最典型的应用就是根据系统运行方式协调配置各机组的 PSS 参数。不同运行方式下的 PSS 优化配置方案构成了次日系统中发电机的励磁控制策略组。这些策略组通过网络被下载到各励磁控制器中。在次日的运行中，当调度中心监测到系统进入某个运行方式时，发出控制指令将励磁控制器进行切换，启用针对当前运行方式的优化控制策略。

本文选用文献[6]中的四机两区域系统用 Matlab/Simulink 对可介入式励磁控制的有效性进行仿真验证。

图 4 所示为四机两区系统，区域 1 向区域 2 传送 400 MW 的功率，其余参数详见参考文献[6]。G1-G4 均采用自并励静止励磁系统，使用 MB-PSS^[7]模型或使用 $\Delta\omega$ -PSS^[6]模型。设输电线路 AB 在 1s 时跳闸，不同 PSS 配置条件下的仿真结果如图 5 所示。图中，PSS 配置代码左起第一个数表示发电机 G1，第二个数表示 G2，如此类推；1 表示采用 MB-PSS^[7]模型，2 表示采用 $\Delta\omega$ -PSS^[6]模型，0 表示 PSS 闭锁。采用大量仿真结果表明，PSS 按 1101 方案配置效果最佳。

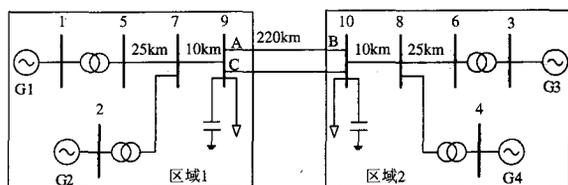


图4 四机两区系统

Fig.4 Four-machine two-area system

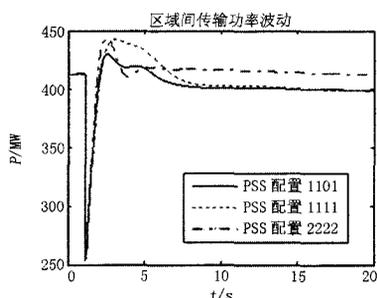


图5 输电线路 AB 跳开时的仿真结果

Fig.5 Simulation result when AB transmission line tripping

本文称诸如发电机投切、线路投退等按计划所造成的系统改变为可预见扰动。显然,可介入式励磁控制对可预见扰动的适应性是便于实现的。例如,如果线路 AB 需要检修,在开断之前,调度中心先命令 G1-G4 的 PSS 配置为 1101,就能最有效抑制断开该线路时引起的扰动。

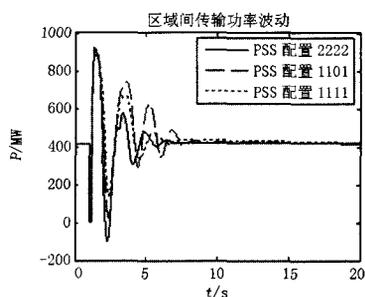


图6 三相短路故障时的仿真结果

Fig.6 Simulation result when three-phase short circuit

在上述系统中,假设 C 点在 1 s 时发生三相金属性接地短路,0.1 s 后故障切除,三种不同 PSS 配置方案下的区域间功率波动仿真结果如图 6 所示。可以看出,最佳配置方案为 2222,这与前面的不同。这说明为有效提高电网的稳定性,应根据电网的不同运行状态,采用不同的 PSS 配置方案。可介入式励磁控制器提供了这样一种能在线更新励磁控制策略的途径。

上述两个算例中发电机 PSS 参数为:在配置代码为 1101 及 1111 的方案中,除前者中发电机 G3 的 PSS 闭锁外,其余发电机的 PSS 均采用 MB-PSS^[7]

模型,其参数相同且为 $K_B=30$, $K_I=40$, $K_H=160$, $F_L=0.2$ Hz, $F_I=1.25$ Hz, $F_H=12$ Hz;在 PSS 配置代码为 2222 方案中,四台发电机的 PSS 均采用相同的 $\Delta\omega$ -PSS^[6]模型,其参数为 $K=30$, $T_{in}=0.05$, $T_{id}=0.02$, $T_{2n}=3$, $T_{2d}=5.4$ 。

4 结束语

本文提出一种新型的励磁控制器——可介入式励磁控制器。可介入式励磁控制器能在线更新控制程序,面向全网实现协调控制。它允许调度中心根据将要采用的运行方式在线远程改变励磁控制参数和控制策略,能够有效地提高系统的稳定性。

参考文献

- [1] 方思立,朱芳.电力系统稳定器的原理及其应用[M].北京:中国电力出版社,1996.
- [2] 王明东,刘宪林,于继来.同步发电机可拓励磁控制器[J].电机与控制学报,2008,12(1):1-4.
WANG Ming-dong, LIU Xian-lin, YU Ji-lai. Extension Excitation Controller of Synchronous Generator[J]. Electric Machines and Control, 2008, 12(1):1-4.
- [3] 肖智宏,周晖,朱启晨.基于灰色预测控制算法的发电机最优励磁控制[J].电网技术,2006,30(5):81-85.
XIAO Zhi-hong, ZHOU Hui, ZHU Qi-chen. Optimal Generator Excitation Controller Based on Grey Prediction Control Algorithm[J]. Power System Technology, 2006, 30(5):81-85.
- [4] 李刚,王少荣,程时杰.一种监控系统实时数据同步交换的新方法[J].继电器,2004,32(12):51-54.
LI Gang, WANG Shao-rong, CHENG Shi-jie. Realization of a New Synchronous Exchange for Real-time Data in an Industrial Monitoring and Control System[J]. Relay, 2004, 32(12):51-54.
- [5] 郝正航,李少波,周杰娜,等.多机电力系统 PSS 参数优化新方法[J].控制理论与应用,2008,25(2):199-204.
HAO Zheng-hang, LI Shao-bo, ZHOU Jie-na, et al. Novel Approach of Parameter Optimization for Multi-machine Power System Stabilizers[J]. Control Theory & Applications, 2008, 25(2):199-204.
- [6] Kundur P, Power System Stability and Control[M], McGraw-Hill, 1994.
- [7] IEEE Recommended Practice for Excitation System Model for Power System Stability Studies, IEEE Std. 421.5, 2002.

收稿日期:2008-08-28; 修回日期:2008-10-30

作者简介:

杨凯(1979-),男,硕士,从事电力系统调度自动化工作;E-mail:yang.topking@gmail.com

王少荣(1961-),男,教授,研究方向为电力系统运行与控制;

于海(1971-),男,硕士,高级工程师,研究方向为电力系统优化调度与安全运行。