

基于电气自动化在电力工程中的运用

于德利

国能神皖合肥发电有限责任公司, 安徽 合肥 210000

[摘要]随着电力工程技术的迅速发展, 电气自动化技术已成为提高电力系统效率和可靠性的关键。文章综述了电气自动化技术在电力工程中的应用, 探讨了其发展历程、核心组成以及在智能电网、发电厂和配电网中的具体应用实例。文中介绍了电气自动化技术的背景及其在国内外的研究现状, 突出其在电力工程中的重要性和研究的创新点。分析了电气自动化技术在电力工程中的多个应用实例, 如智能电网的构建、发电厂的自动化控制系统, 以及配电网的自动化和远程监控系统。

[关键词] 电力工程; 电气自动化; 工程应用

DOI: 10.33142/hst.v7i2.11492

中图分类号: TM76

文献标识码: A

Application of Electrical Automation in Power Engineering

YU Deli

Guoneng Shenwan Hefei Power Generation Co., Ltd., Hefei, Anhui, 210000, China

Abstract: With the rapid development of power engineering technology, electrical automation technology has become the key to improving the efficiency and reliability of power systems. This article reviews the application of electrical automation technology in power engineering, explores its development history, core components, and specific application examples in intelligent power grids, power plants, and distribution networks. The article introduces the background of electrical automation technology and its research status both domestically and internationally, highlighting its importance and innovative research points in power engineering, analyzes multiple application examples of electrical automation technology in power engineering, such as the construction of smart grids, automation control systems in power plants, and automation and remote monitoring systems in distribution networks.

Keywords: electric power engineering; electrical automation; engineering application

当今社会, 电力作为基础能源, 在各行各业中扮演着至关重要的角色。随着科技的发展和工业化进程的加速, 对电力系统的效率和可靠性提出了更高要求。电气自动化技术, 作为实现这些要求的关键手段, 其重要性日益凸显。它不仅能提高电力系统的操作效率, 还能增强系统的安全性和稳定性。因此, 深入研究电气自动化技术, 不仅有助于推动电力工程领域的科技进步, 也对于保障社会经济的稳定发展具有重大意义。

1 电气自动化技术概述

1.1 电气自动化技术的发展历程

电气自动化技术的发展历程始于 20 世纪初期, 随着电力工业的诞生和电力需求的增长, 自动化技术逐渐成为提高电力系统效率和可靠性的关键手段。最初, 自动化技术主要集中在基础的控制和保护系统上。进入 20 世纪中后期, 随着电子技术和计算机技术的飞速发展, 电气自动化技术开始向更高级的控制系统和监控系统演进。进入 21 世纪, 随着信息技术的进步和智能技术的应用, 电气自动化技术已经从简单的设备控制发展到整个电力系统的综合自动化管理, 成为现代电力系统不可或缺的组成部分。

1.2 电气自动化技术在电力工程中的应用

电气自动化技术在电力工程中的应用广泛, 涵盖了从发电、输电、配电到用电的各个环节。在发电领域, 自动

化技术用于提高发电效率和安全性, 实现了发电机组的优化调度和智能控制。在输电环节, 自动化技术不仅提高了输电线路的运行效率, 还增强了系统的可靠性和安全性。在配电系统中, 自动化技术则应用于配电网的优化管理和故障快速处理。此外, 随着智能电表和家庭自动化系统的推广, 电气自动化技术也开始深入到终端用户的用电环节, 极大地提高了电力资源的使用效率和用户的用电体验。

表 1 电气自动化技术在电力工程中的不同应用领域及其具体功能

应用领域	功能描述	具体实例
发电	提高发电效率和安全性; 优化调度和智能控制	发电机组的自动启停与负荷分配
输电	增强输电线路的运行效率和可靠性	远程监控输电线路; 自动化故障检测与隔离
配电	优化配电网管理; 快速故障处理	配电网的自动化控制与故障诊断
用电	提高电力资源使用效率; 优化用户用电体验	智能电表; 家庭自动化系统
综合治理	实现电力系统的综合自动化管理	智能电网的构建与管理

2 电力工程中电气自动化技术的应用分析

2.1 智能电网的构建与管理

智能电网作为电力系统现代化的一个重要标志, 其构建与管理是电气自动化技术发展的重要方向。智能电网通

过综合应用先进的信息技术、自动化技术、通信技术和新能源技术,实现了电网的智能化管理和优化运行,极大地提升了电力系统的效率和可靠性。在电力系统中,智能电网的构建与管理是实现电力系统现代化的关键。智能电网通过集成先进的信息通信技术和电力技术,实现了电力系统的高效管理和自动化控制。智能电网的一个核心组成部分是先进的电力系统状态估计。电力系统状态估计的目标是基于观测值,估计出系统状态(如电压幅值和相位角)的最优值。最小二乘法是其中的一种常用方法。这个方法的基本思想是最小化观测值和估计值之间的误差平方和。

首先,我们定义系统状态为 x , 观测值为 z , 观测值的估计值为 $h(x)$, 观测误差为 $e = z - h(x)$, 观测误差的协方差矩阵为 R 。则优化问题可以定义为:

$$\min J(x) = e^T R^{-1} e = (z - h(x))^T R^{-1} (z - h(x)) \quad (1)$$

要求解这个问题,我们需要找到 x 的值使 $J(x)$ 最小。这可以通过求解 $J(x)$ 的梯度并令其为零来实现:

$$\frac{\partial J(x)}{\partial x} = -2H^T R^{-1} e = 0 \quad (2)$$

其中, H 是观测值关于状态的雅可比矩阵, $H = \frac{\partial h(x)}{\partial x}$ 。

从式(2)中,我们可以得到正规方程组:

$$H^T R^{-1} H \Delta x = H^T R^{-1} e \quad (3)$$

其中, Δx 是状态的修正值。通过迭代求解这个方程组,我们可以得到状态的最优估计值。初始状态 $x^{(0)}$ 可以设为某个初始值,然后按照以下公式进行迭代:

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)} \quad (4)$$

直到 Δx 小于某个预定的阈值,或者迭代次数达到预定的最大次数。

通过以上步骤,我们就可以得到电力系统的状态的最优估计值。这是电力系统状态估计中的一个基本问题,也是电力系统运行和控制中的一个关键问题。



图1 智能电网系统示意图

在实际应用中,智能电网的构建和管理涉及到多个方面。例如,通过集成分布式发电资源,如太阳能和风能,智能电网能够优化能源的使用和分配。此外,采用需求响应机制,智能电网能够根据实时电力需求调整电力供应,提高系统的灵活性和响应能力。还有,通过引入电动汽车

的充电和放电管理,智能电网不仅提供了新的能源消费模式,还为电网提供了额外的储能能力。尽管智能电网在提高电力系统效率和可靠性方面具有巨大潜力,但在其发展过程中也面临着一些挑战,如技术标准的统一、数据安全和隐私保护,以及旧电网的改造和升级等。未来,随着技术的进一步发展和应用的深入,智能电网将在智能化、数字化和生态化方面实现更大的突破,为电力系统的可持续发展提供坚实的技术支撑。

2.2 发电厂自动化控制系统

发电厂自动化控制系统的发展对提高发电效率、降低运维成本、保障电网稳定运行具有重要意义。这一系统通过引入先进的控制理论和技术,实现了发电过程的优化和自动化。

发电厂自动化控制系统的构成包括各种传感器、控制器、执行器、计算机系统和通信网络。传感器负责收集各类数据,如温度、压力、流量等。控制器则基于这些数据做出决策并向执行器发送指令,实现自动控制。计算机系统用于存储和处理数据,同时运行各种控制算法和优化程序。通信网络确保系统各部分之间的数据传输顺畅,支持远程监控和控制。

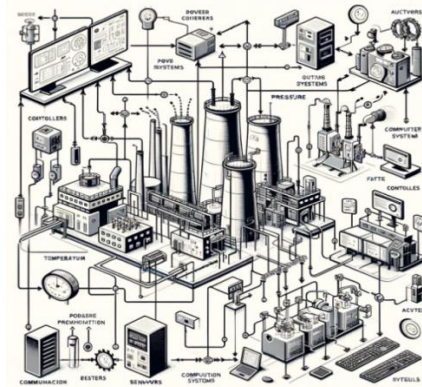


图2 发电厂自动化控制系统

发电厂的主要目标之一是维持蒸汽轮机的运行在最优效率点。假设蒸汽轮机的效率 η 可以通过下面的公式近似表示:

$$\eta = aP^2 + bP + c \quad (5)$$

其中, P 是蒸汽轮机的功率, a 、 b 和 c 是根据实际情况确定的系数。为了最大化效率,我们需要求解以下优化问题:

$$\max \eta \text{ subject to } P_{\min} \leq P \leq P_{\max} \quad (6)$$

其中, P_{\min} 和 P_{\max} 分别是蒸汽轮机的最小和最大允许功率。

其次,自动化控制系统还需考虑发电厂与电网之间的功率平衡。假设电网要求的功率为 P_{grid} , 发电厂的的实际输出功率为 P_{plant} , 则系统需满足如下方程:

$$P_{\text{grid}} = P_{\text{plant}} \quad (7)$$

为了实现这一目标,自动化控制系统可以采用 PID

控制器，其控制律可以表示为：

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (8)$$

其中， $e(t) = P_{grid} - P_{plant}$ 是偏差信号， K_p 、 K_i 和 K_d 分别是比例、积分和微分增益。为了提高系统的响应速度和稳定性，可以引入先进的控制策略，如模型预测控制 MPC。MPC 通过预测未来一段时间内的系统行为，优化当前的控制输入。假设预测的时间范围为 $[t, t+T]$ ，MPC 问题可以表示为：

$$\min_{u(t)} \int_t^{t+T} (P_{grid}(t') - P_{plant}(t'))^2 dt' \quad (9)$$

通过上述方法，发电厂自动化控制系统不仅可以提高发电效率，还能更好地满足电网的需求，从而为电力系统的稳定运行提供重要支持。未来，发电厂自动化控制系统的发展将更加侧重于集成新兴技术，如人工智能、大数据分析和物联网。这些技术将进一步提高系统的智能化水平，使其能够更好地适应复杂和不断变化的运行环境。同时，这些系统将越来越多地与智能电网和其他能源系统集成，实现更高效、更清洁和更可持续的能源生产。

2.3 配电网自动化与远程监控系统

配电网自动化与远程监控系统是现代电力系统中不可或缺的一部分，它们的主要目的是提高电网的可靠性、效率 and 安全性。这些系统通过集成高级的控制、通信和信息技术，实现了对配电网的高效管理和实时监控。

配电网自动化系统的核心功能包括故障检测与定位、电网优化、负荷管理和电能质量监控。通过这些功能，系统能够快速识别和解决电网中的问题，优化电网运行状态，平衡供需关系，并保证电能供应的稳定性和质量。远程监控系统在配电网自动化中扮演着至关重要的角色。先进的传感器和智能仪表用于实时数据收集，如电压、电流和功率等。通信技术则确保了这些数据的实时传输，包括无线通信和有线通信等多种方式。此外，数据处理和分析软件在控制中心中发挥着核心作用，通过对收集的数据进行分析，为电网运行和维护提供决策支持。



图3 配电网自动化与远程监控系统

在实际应用中，配电网自动化和远程监控系统已经在多个方面展示了其效益。例如，通过实施故障定位和自愈系统，一些地区的电网已经能够在发生故障时快速定位并

自动隔离故障区域，显著减少了停电时间和影响范围。此外，通过负荷预测和管理，系统可以优化电网的运行状态，提高能源利用效率，减少浪费。虽然配电网自动化和远程监控系统在提高电网效率和可靠性方面取得了显著进步，但仍面临着一些挑战。

3 电气自动化技术的挑战与发展趋势

3.1 当前面临的技术挑战

电气自动化技术当前面临的主要技术挑战包括系统的可靠性和安全性、对新兴技术的集成以及大数据管理。首先，随着电网规模的不断扩大，确保系统的稳定性和抗干扰能力成为一大挑战。其次，如何有效集成如可再生能源、智能传感器等新技术，提高系统的效率和灵活性，也是一个重要的考虑因素。此外，大数据的有效管理和分析对于优化电网运行和维护至关重要，但同时也带来了数据处理和隐私保护方面的挑战。

3.2 未来发展方向与预测

电气自动化技术的未来发展方向预计将集中在以下几个方面：首先，智能化和数字化是未来发展的核心，通过引入人工智能、物联网和大数据分析，电气自动化系统将更加智能和高效。其次，可持续性将成为一个重要的发展趋势，特别是在可再生能源的集成和优化方面。此外，随着技术的发展，系统的安全性和可靠性也将得到进一步增强，以应对更复杂和动态的电网环境。

4 结语

本研究主要聚焦于电气自动化技术在现代电力系统中的应用，并对其挑战和发展趋势进行了详细的分析。研究成果显示，电气自动化技术通过集成先进的控制、通信和信息技术，显著提高了电网的效率和可靠性。此外，通过引入智能化和数字化元素，如人工智能和物联网，电气自动化系统的性能得到了进一步的提升。本研究还强调了电气自动化技术在推动电力行业向更可持续方向发展方面的重要性，特别是在集成可再生能源和优化电网运行方面。

[参考文献]

[1] 练坚; 武亦文. 电气自动化技术在电力工程中的应用探索[J]. 中国品牌与防伪, 2023(10): 64-67.
[2] 张林强. 电气自动化技术在电力工程中的运用分析[J]. 电气技术与经济, 2023(6): 95-97.
[3] 李再丽. 电力工程中的电气自动化技术应用[J]. 信息系统工程, 2023(8): 56-59.
[4] 刘鹏飞. 电气自动化技术在电力工程中的应用[J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(7): 54-56.
[5] 吕文渊. 电气自动化技术在电力工程中的应用与发展[J]. 光源与照明, 2023(3): 236-238.

作者简介：于德利（1982.1—），男，籍贯：安徽合肥，学历：本科，职称：中级职称，职务：工程师，研究方向：电力工程。