

电气工程及其自动化无功补偿技术的应用研究

唐永泉

宁波工程学院电子与信息工程学院, 浙江 宁波 315211

摘要： 电力工程及其自动化是当今科技领域的重要分支，主要研究电能的产生、传输、分配和应用。随着科学技术的不断发展，电气自动化技术已被越来越多地运用到生产生活的各个方面，对提高生产效率、节能降耗起着十分关键的作用。然而，在电力系统的运行过程中，无功功率问题严重影响电能质量、设备利用率和电网的稳定运行。无功补偿技术是一种能够提高电网运行效率、电网供电质量的方法，已成为当前研究的热点。在此背景下，本文概述了无功补偿技术的基本原理与分类，分析了无功补偿技术在电气工程自动化中的应用，针对无功补偿技术面临的挑战提出了相应的解决方案，旨在为相关技术人员提供书面参考。

关键词： 电气工程；电气工程自动化；无功补偿技术

Application Research of Electrical Engineering and Its Automatic Reactive Power Compensation Technology

Tang Yongquan

School of Electronic and Information Engineering, Ningbo University of Technology, Ningbo, Zhejiang 315211

Abstract: Electric power engineering and its automation is an important branch in the field of science and technology, mainly studying the generation, transmission, distribution and application of electric energy. With the continuous development of science and technology, electrical automation technology has been more and more applied to all aspects of production and life, and plays a very key role in improving production efficiency, energy saving and consumption reduction. However, during the operation of the power system, reactive power problems seriously affect the power quality, equipment utilization and stable operation of the grid. Reactive power compensation technology is a method that can improve the operation efficiency and power supply quality of power grid, and has become a hot topic in current research. In this context, this paper summarizes the basic principle and classification of reactive power compensation technology, analyzes the application of reactive power compensation technology in electrical engineering automation, and puts forward corresponding solutions for the challenges faced by reactive power compensation technology, aiming at providing written reference for relevant technicians.

Keywords: electrical engineering; electrical engineering automation; reactive power compensation technology

引言

随着人工智能、物联网、云计算等新兴科技的兴起，电气工程及其自动化领域正在逐渐向智能化和网络化的方向发展，各种先进工艺手段的应用，如现场总线、分布式控制系统等，提升了工业生产的智能化水平。在电气工程及其自动化工程中，无功补偿技术的重要性不容忽视。其目的在于改善电力系统的电力品质，减少电力系统中的无功流量，进而减少电力变压器和输电线路的损失，提高电力系统的整体稳定性与安全性。同时，无功补偿技术还可以改善电力系统的运行状况，减少电网中的谐波，提高装置的使用年限，为电力系统的安全可靠运行奠定基础。因此，无功补偿技术在电气工程领域有着广泛的应用价值与发展前景。

一、无功补偿技术的基本原理与分类

（一）无功功率的定义与作用

无功功率通常用 Q 来表示，指的是在具有电抗的交流电路中，电场或磁场在一周期的一部分时间内从电源吸收能量，另一部分时间则释放能量，在整个周期内平均功率是零，但能量在电源和电抗元件（电容、电感）之间不停地交换。交换率的最大值

即为“无功功率”。与有功功率相比，它并没有真正意义上的电能转化和电能转移，只起到对线路中电容、电感等无功的作用。在电力系统中，无功功率是一个非常关键的环节，也是计算电路总功率因素的主要参数之一。功率因数是指电力系统对电力系统的使用效率，而电力系统中的无功功率是衡量电力系统运行效率的重要指标。在电力系统中，无功功率是保证电网稳定运行和改善电能质量的关键。若无功功率供给不足，将引起电压下降，线路

损耗增大，严重时还会引起系统失稳。因此，为了保证电力系统的安全和高效运行，必须采用有效的无功补偿技术^[1]。

（二）无功补偿技术的分类

无功补偿技术主要分为两类，分别是静态无功补偿和动态无功补偿。以 SVC（静止无功补偿器）为代表的静态无功补偿技术，其特点是利用电容器或电感等不变的元器件对电容器进行切换，从而调节电网功率，实现无功功率的目的。该技术具有设备简单、造价低廉等优点，但其补偿能力比较弱，而且其动态特性也比较缓慢，适合在负载波动比较平缓的情况下使用。以 STATCOM（静止同步补偿器）为代表的动态无功补偿技术，利用电力电子学手段，通过调节交流侧的电流相位、幅度等参数，实现对电网负荷与网络的动态响应，从而快速、准确地补偿无功功率。该方法具有良好的补偿性能和快速的反应能力，适合于负载快速变动的情况。此外，还有传统的同步电动机补偿、现代无功补偿技术，如 SVG（静止无功发生器）等，各种方法都有其优点和不足之处，需要结合实际情况选择^[2]。

二、无功补偿技术在电气工程自动化中的应用

（一）智慧电网中的应用

随着电力系统的发展，智能电网中的无功补偿技术越来越受到人们的重视。由于用电负荷不断增加，电网容量不断增大，无功补偿技术成为实现智能电网必不可少的环节。无功电力是指在电网中没有发电能力，但却对电网运行起着不可替代作用的电流和电压，无功补偿技术通过对电网的重组与调节，将无功迅速地转移到可利用的电容量，进而提升整体供电效能。其次，无功补偿技术通过自动化控制实现无功功率的实时监测与动态补偿。在智能电网中的无功补偿装置，如 SVC 和 STATCOM，采用以 IGBT（绝缘栅双极型晶体管）为代表的新型功率电子器件，可以有效进行能量的转化与调控。该技术可实现对电力系统无功负荷的实时监控，并按负荷动态调节系统的无功出力，可有效应对负荷变动引起的电压起伏及电力因素降低等问题，实现电力系统在多种复杂工作条件下的平稳运行。因此，将无功补偿技术引入到智慧电网，既可适应电网对无功功率均衡的要求，又可为实现其安全可靠、有效的调度提供重要支撑^[3]。

（二）配电自动化中的应用

在电气工程自动化的配电自动化领域中，无功补偿是一个非常重要的环节。在配电网中，采用无功补偿方法可以减少或消除电力供应的波动，改善电力供应品质。电容器组、SVC 及 STATCOM 等无功补偿设备，可根据电网需求迅速做出反应，动态调整无功功率的输出或吸收，有助于保证电网的安全性与可靠性。将 SVC 与 STATCOM 技术用于低压配电系统，二者都具有较好的无功补偿，但都具有各自的特点。SVC 通过对可控硅整流器的导通角度进行调整，以调整电网中电抗器及电容器的容量，进而使电网的导纳发生变化，实现无功补偿。STATCOM 则由可断开功率器件构成的自换型线路，可通过调整 AC 端的输入电压幅度、相位或对其 AC 端的电流进行调控，从而达到对电网进行快

速、动态的无功补偿。与 SVC 相比，STATCOM 在电网电压波动时，其反应速率快、工作范围广，可为电网的无功功率供应带来更好的稳定性。同时，STATCOM 具有对电网中的谐波进行追踪和补偿的功能，从而改善了系统的供电品质。因此，STATCOM 作为一种新型的电力系统，已逐渐被用于低压配电系统，有助于提升供电质量与稳定性^[4]。

（三）可再生能源并网中的应用

以智能化无功补偿技术为代表的无功补偿技术，已被越来越多地用于风电、光伏发电等可再生能源并网。由于新能源的存在，运行方式受到天气变化的强烈影响，其波动、不稳定等特点，对电力系统的无功输出有着重要的影响。由于受天气、季节等诸多因素的共同作用，风力发电及光伏发电系统的出力往往会受到各种因素的影响，从而使并网点有功功率出现波动。因此，对电力系统进行有效的无功补偿是非常必要的。通过对电容器、电感等设备的适当布置，实现对电网中所发生的无功进行有效的补偿，使整个电力系统的能量均衡。例如，在太阳能发电系统中，由于其并网，将引起系统的电压不稳定、谐波污染等问题。同时，提出一种新型的基于 SVG 的无功补偿技术，并对其进行改进。SVG 无功补偿装置通过精确控制电流的相位与幅值，能进行快速、动态的无功补偿，保证光伏电站的稳定、高效运行，为可再生能源规模化接入提供重要的技术支撑^[5]。

（四）工业电网系统中的应用

在工业电网系统中，无功功率的补偿是实现电网最优、最平稳的一项关键技术。电机、变压器等大型工业装备在正常运转时，需要消耗相当大的无功功率，一般占其额定功率的30%–50%。比如，一个100kW 的电机，一般要求30kvar–50kvar 的无功才能使电动机正常启动和运转。这种装置依靠无功来保持充足的电流，并在其周围产生一种磁场，以实现高效的电能输送。但是，电网中过量的无功损耗不但会增大电网负荷，而且会引起电网的电压波动、电网的谐波含量升高，严重影响电网的稳定与安全^[6]。无功补偿将无功输入到电网中，使电网中的无功功率达到均衡，提高电网的电力效率。功率因数是反映有功功率和视在功率的比值，是评价电能质量和电能效率的一个关键参数。随着电感负荷的增加，电网的功率因数将降低，从而降低电网的运行可靠性和效率。无功补偿指通过调节电容器、电抗器的投切来对电网中的无功进行实时的补偿，以提高电力系统的功率因数，保证电网的平稳运行。同时，采用无功补偿方法可以减少工业电网的能量消耗。由于电网中的无功功率的流动，会造成输电线路和变压器等设备的损失增大，采用无功补偿方法可以有效减少电网中的无功流量，减少电网的损失，提高能量的利用效率。特别是在工业生产中，大规模装备的运行对电网提出了更高的要求，利用无功补偿能够有效减少装置的能源消耗，从而降低企业的生产成本^[7]。

三、无功补偿技术面临的挑战与解决方案

（一）挑战分析

电气工程及其自动化中的无功补偿技术，是提高电力系统效

能和稳定性的重要手段，但在实际应用中仍存在一系列的问题。首先，技术复杂性。为了保证无功补偿技术的准确性、实时性，必须有较强的自动控制和较高的数据分析功能。由于电力系统规模不断增大，系统结构日趋复杂，如何实现高效精确的无功补偿是一个迫切需要解决的问题。其次，设备成本与维护成本高。目前，高性能的无功补偿设备造价昂贵，为了保证其长时间的稳定运转，必须进行经常性的维护与检修，给资金有限的供电企业和用户带来较大的财政负担。最后，与其他电力系统的兼容性也是一个很大的难题。为了达到最佳的补偿效果，必须与其他设备的技术参数密切配合，如变压器和开关等。但由于各装置在工艺指标及工作特性上的差别，造成系统可能存在兼容性问题，从而降低系统的无功补偿效果及整个电力系统的稳定性。因此，提高无功补偿技术与电网其他设备的兼容度，是目前电气工程及其自动化领域研究中需要解决的问题^[8]。

（二）解决方案

第一，解决电力系统中的无功补偿技术的复杂性问题，应提高系统的智能程度。引入现代自动控制方法，采用大量的资料处理方法，有效提高系统的实时性、准确性。比如，以电力电子技术为基础的 SVG、STATCOM 等可快速准确地进行无功补偿。在此基础上，利用模糊控制、自适应 PID 控制及谐波消除等智能控制方法，实现对电网负荷的实时调节。借助物联网、大数据等手段，通过将智能传感器接入到装置中，对电力系统中的无功补偿设备进行远程监控与数据分析，并将其上载到云中，使操作人员能够及时发现并处理故障，进而提升其工作的可靠性和工作效率。例如，基于航顺 HK32F103A 系列 MCU 的智能无功补偿器，其信号分析功能强，可达到高精度的无功补偿。采用智能方法，使系统具有自动故障、自动恢复等功能，在正常工作状态下，能及时处理出现的问题，缩短系统的停工周期，增加设备的可用性。该技术在提高电网无功补偿效能的同时，减少对人为干预的过度依赖，为电网安全稳定运行提供强有力的支撑^[9]。

第二，由于其造价高、维修费用高，制约了无功补偿技术的广泛应用。为此，应优化设备成本与维护策略，通过技术创新降

低设备的初始投资成本。以航顺 HK32F103A 为代表的国产芯片，不但可以减少物料清单的费用，而且可以进行模组扩充，以满足各种电源的需求。此外，通过对装备的结构、制造技术进行改进，可以有效提高装备的寿命和可靠性，从而减少装备的整个寿命周期费用。为了减少运营费用，应优化设备的维护策略。常规的维护方法常常存在过度维护或维护不足的情况。建议引入基于实际状态的维护策略，并将其与智能传感及远程监测相结合，实现对装备的精确维修。比如，通过对温度、电流、电压等重要参量的在线检测，可以提前发现可能出现的问题，从而有针对性地进行维修，这样既可以避免一些不必要的维护工作，又可以提高设备的寿命，降低维护成本。

第三，为了提高系统的兼容性，必须在设备选择与设计阶段充分考虑各种设备的技术参数及运行特点。例如，在智能电网建设过程中，采用标准化的接口与协议，实现新型无功补偿装置与传统电网设备的无缝对接。落实模块化的设计理念，将无功补偿装置与其他用电设备（如变压器、开关等）进行集成，形成整体解决方案，有效提升系统的综合性能及兼容性。比如，以可编程控制器为核心的 10 kV 动态无功补偿控制系统，集成了多种先进技术，能够高效解决电网无功损耗和电压下降的问题，这种模块化的设计，既可提高设备的互用性，又可简化安装调试流程，提高无功补偿效果，从而有效增强电网的整体稳定性^[10]。

四、结语

综上所述，无功补偿技术作为电气工程及其自动化领域的关键技术之一，是提高系统运行效率、电能质量和电网稳定水平的重要手段。随着技术的不断发展、智能化和网络化趋势的加强，无功补偿技术的应用将更加广泛且深入。面对应用无功补偿技术面临的挑战，应不断改进补偿方案，提升装置的运行效率，实现更加高效、智能和绿色的供电。未来，在电气工程及其自动化领域高效应用无功补偿技术，有助于构建更加安全、可靠、可持续发展的现代能源体系。

参考文献

- [1] 贾宝成. 电工电子技术在无功补偿自动控制中的应用 [J]. 中国高新科技, 2023, (13): 52-54.
- [2] 陈搏. 无功补偿技术在电气自动化中的应用分析 [J]. 中国设备工程, 2023, (S1): 102-104.
- [3] 龚莉强. 自动化无功补偿技术的应用 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(10): 106-107.
- [4] 韩冬. 电气自动化中无功补偿技术及其应用探究 [J]. 科技与创新, 2022, (18): 47-49.
- [5] 王丽艳. 自动化中的智能无功补偿技术应用 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(09): 98-99.
- [6] 边茂洲. 浅析电气自动化中无功补偿技术要点 [J]. 科技与创新, 2022, (10): 42-44+48.
- [7] 吴国兴. 电气工程中电气自动化技术的应用研究 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(06): 103-105.
- [8] 陆向东, 向荣华. 智能无功补偿技术在电气工程自动化中的应用研究 [J]. 科技风, 2020, (21): 7.
- [9] 湛伟越. 电气工程及其自动化无功补偿技术的实际应用研究 [J]. 科技创新导报, 2020, 17(06): 45-46.
- [10] 吴娟. 智能无功补偿技术在电气工程自动化中应用 [J]. 通讯世界, 2020, 27(01): 257-258.