

# 电力电子在储能系统中的应用研究

唐大清

南方电网超高压输电公司昆明局， 云南省昆明市 650214

**摘要：**电力电子器件是现代能源系统的重要组成部分，是提升能量转换效率，提升系统稳定性与可靠性的重要手段。本项目拟对功率电子变换器在储能领域的应用进行深入研究，重点研究交流/DC、DC/DC、DC/DC、DC/AC、AC/AC 等变换方式，并对开关器件的选择、控制策略的优化、滤波器设计、保护措施的实现、效率的提高等进行研究。本项目以动力电子设备为研究对象，以高精度传感技术为基础，结合先进的计算方法，准确地监控和管理电池组的健康状况，提高电池的使用寿命，提高整个储能系统的综合性能。并以特斯拉电动车 BMS 为例，说明了功率电子器件对提高能量存储系统效能的作用。该项目的实施将为我国能源存储技术的多样化、智能化、可持续发展提供重要的支撑。

**关键词：**电力电子技术；储能系统；电池管理系统（BMS）

DOI:10.69979/3060-8767.24.1.003

## 1. 绪论

### 1.1 背景介绍

电力电子器件是现代能源系统的重要组成部分，对提升能量转换效率、提升系统稳定性与可靠性具有重要意义。随着新能源的大量使用以及智能电网的迅速发展，电力电子器件已经成为联接多种能源形式，实现高效能源管理的重要手段。该方案不但能够有效地将电能转化为电能，而且能够通过精细的控制策略提高电力系统的灵活性和响应速度<sup>[1]</sup>。

### 1.2 研究意义

为了改善储能系统的性能，需要采用电力电子器件。储能技术是缓解新能源供需矛盾和推动新能源规模化利用的重要途径，其性能对整个电网的综合性能有很大的影响。电力电子器件通过对能量转化和控制策略的优化，可以大幅提高储能系统的能效、响应速度及调控精度，从而提高电力系统的稳定可靠运行。近年来随着电力电子器件的发展，储能装置的造价逐步下降，为其大规模推广应用奠定了基础<sup>[2]</sup>。

### 1.3 研究目标与内容

本项目拟对电力电子器件在储能领域的潜在应用进行全面、深入的研究，揭示其对储能系统效能的显著提升机理与作用途径。重点研究功率电子变换器的各种变换机理，并对开关器件选择、控制策略优化、滤波设计、保护措施实施及效能增强等关键问题进行深入分析，揭示其在储能系统中的应用价值。在此基础上，本项目将深入探讨电池管理系统（BMS）中功率电子器件的集成及应用策略，并结合高精度传感器，利用复杂算法建

模等方法，准确地监控和管理电池的健康状况，进而提高电池的使用寿命，提高整个储能系统的安全稳定运行<sup>[3]</sup>。结合典型应用实例，直观地说明功率电子器件对能量存储系统的促进作用。通过本项目的研究，将在新型电力电子器件、智能控制算法、多类型储能系统协同优化、远程监测与运营管理等领域取得创新和突破，为我国储能技术的多元化、智能化、可持续发展奠定坚实的基础。

## 2. 储能系统概述

### 2.1 储能技术分类

目前储能技术主要包括电池储能、超级电容器储能、飞轮储能等多种类型。电池储能作为最常见的储能方式，具有能量密度高、技术成熟、应用广泛的特点。它通过化学反应将电能转化为化学能储存起来，并在需要时通过逆反应释放电能。然而电池储能也面临着充放电速率有限、寿命受充放电次数影响等挑战。超级电容器储能则以其快速充放电能力著称，能在极短时间内完成电能的储存和释放。虽然其能量密度相对较低，但功率密度高，适用于需要快速响应的场合。飞轮储能是通过高速旋转的飞轮储存机械能，当需要电能时，再通过发电机将机械能转化为电能。飞轮储能具有长寿命、高效率的优点，且对环境友好，但在储能密度和成本方面仍需进一步优化。

### 2.2 电力电子接口的作用

电力电子设备在储能系统中发挥着至关重要的作用，它们作为储能系统与电网或其他能源系统之间的接口，负责电能的转换、控制和调节。不同类型的储能系统对电力电子接口的要求也各不相同。在电池储能系统

中, 电力电子接口需要能够精确地控制电池的充放电过程, 以保证电池的安全运行并最大化其使用寿命。此外, 电力电子接口还需具备能量管理功能, 根据电网需求或系统运行状态, 灵活地调整电池的充放电功率。对于超级电容器储能系统而言, 电力电子接口需具备快速响应能力, 以匹配超级电容器的高功率密度特性。在飞轮储能系统中, 电力电子接口则需与飞轮发电机紧密配合, 实现机械能与电能之间的高效转换。

### 3. 电力电子变换器原理

#### 3.1 基本原理

电力电子变换器是现代电力系统中至关重要的设备, 其核心功能是实现电能形式之间的转换。根据其功能和应用场景, 电力电子变换器可以分为四大类: AC/DC (交流转直流)、DC/DC (直流转直流)、DC/AC (直流转交流) 和 AC/AC (交流转交流)。见表 1 为各电力电子变换器的功能, 各自承载着将交流电与直流电之间相互转换, 以及直流电或交流电内部参数调整的重任。

表 1 变换器类型与功能

| 变换器类型 | 功能描述                                 |
|-------|--------------------------------------|
| AC/DC | 将交流电转换为直流电, 常见于整流器和电源转换器中。           |
| DC/DC | 调节直流电的电压或电流, 广泛应用于电压调节器、充电器等。        |
| DC/AC | 将直流电转换为交流电, 常见于逆变器和太阳能发电系统中。         |
| AC/AC | 对交流电进行频率、相位或电压的变换, 常见于变频器、电力机车供电系统中。 |

#### 3.2 关键技术

见表 2, 在深入探讨电力电子变换器的关键技术与设计因素时, 每一个环节都紧密相连, 共同构成了变换器高效、稳定的运行。从开关器件的精心选择, 到控制策略的精准设计, 再到滤波器的巧妙运用和保护措施的周全考虑, 每一个步骤都体现了工程师们对性能与安全的不懈追求。而效率优化则是贯穿整个设计过程核心理念, 通过不断的创新与优化, 实现能量的最大化利用与损耗的最小化。

表 2 关键技术和设计因素

### 4. 电力电子在储能系统中的应用

#### 4.1 电池管理系统 (BMS) 集成

特斯拉在电池管理系统的整合方面表现得尤其突出, 该系统不但采用高精度传感网络对各电池组的电压、电流、温度等参数进行实时监控, 同时利用卡尔曼滤波、神经网络等复杂算法建模, 准确评估电池组的健康状况 (SOH) 与剩余电量 (SOC)。通过对数据的精确分析, BMS 可以对过热、过充、过放电等潜在失效风险进行预警, 达到提高电池使用寿命和提高安全性能的目的。特斯拉的 BMS 也采用了先进的散热管理技术, 利用电控制

冷系统对电池组进行自动调整, 保证电池在最佳工作范围内工作, 从而提高电池的能效和使用寿命。正是因为有了这样一套完整的电池管理方案, 特斯拉才能在更长的时间、更长的续航时间内, 成为了业界的标准。

#### 4.2 能量转换与控制策略

功率电子变换器是新能源并网储能系统的核心装备, 其技术创新持续推进了能量高效利用。比如基于自适应控制的电力电子变流器, 可以在电网中实时感应到电网的频压变化, 快速地调节输出参数, 为电网提供“柔性”的支持。该方法既可改善电力系统的抗扰动性能, 又可降低由于电网波动造成的能量浪费。而预测控制技术的提出, 使得能量存储系统的最优调度问题得到了进一步的研究。通过对自然因素 (如风速、光照等) 的精确预测, 预先制定充电/放电方案, 实现与新能源发电的互补, 从而有效抑制新能源出力的波动, 提升电网的综合供电品质。本项目提出的“前瞻式”能量管控方案, 将为新能源大规模接入电网奠定基础。

#### 4.3 微电网中电力电子技术的综合应用

随着微电网中电力电子技术的应用日趋多样化、复杂, 微网中的储能系统既要满足自身负载的供电要求, 又要在必要时与外界电网发生能量交互, 以达到独立运行和互联互通的双重目的。所以功率电子学在其中起着非常重要的作用。微网中的储能系统可通过融合双向直流/交流逆变器、储能变换器等先进功率电子器件, 实现了能量双向流通与高效转化。在此基础上, 通过优化调度算法、需求响应算法等智能控制算法, 实现储能系统对负载的动态调节, 保证微网的安全、经济运行。随着电力电子技术的发展, 微网中各种能量存储方式的协调与优化成为可能。通过智能协同调控, 实现电池、超级电容器、飞轮等多种存储介质的优势互补, 协同应对微网供需矛盾, 提升系统综合可靠性与柔性。

#### 4.4 储能系统的故障诊断与健康管理

功率电子器件已不仅仅局限于能量转化和控制, 而是广泛应用于储能系统的故障诊断和健康管理。近年来

| 关键技术/设计因素 | 说明                                                                         |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|
| 开关器件的选择   | 选用合适的半导体开关器件 (如 IGBT、MOSFET 等), 根据工作频率、电压等级和电流要求进行选择。                      |
| 控制策略      | 设计高效的控制算法, 确保变换器在不同工况下的稳定运行和高效能量转换。常见的控制策略包括 PWM (脉冲宽度调制)、SPWM (正弦脉宽调制) 等。 |
| 滤波器设计     | 为了减少输出波形中的谐波分量, 需要设计合适的滤波器 (如 LC 滤波器、LCL 滤波器等)。                            |
| 保护措施      | 设计过压、过流、短路等保护措施, 提高变换器的安全性和可靠性。                                            |
| 效率优化      | 通过优化电路结构、控制策略和散热设计, 提高变换器的转换效率, 减少能量损耗。                                    |

随着智能电网、物联网等技术的不断发展,利用高精度传感及先进信号处理等手段,可以对储能装置的运行状况及重要参数进行实时监控。本项目拟以动力电池为研究对象,采用先进的功率传感技术,通过对电池的电压、电流、温度等关键参量的实时监控,并结合 FFT 等信号处理手段,对所获取的数据进行深度分析。当检测到电压、电流、温升等数据出现异常时,该系统可以及时报警,并利用故障诊断算法对其进行快速定位,为维修人员提供可靠的故障信息。将大数据分析 with 人工智能算法相结合,可以实现对能量存储系统的长时间监测与评价。在此基础上,通过对电池运行过程中的历史数据进行分析,可以对电池的运行状态及剩余寿命进行预测,从而为电池运营管理人员提出科学的维修建议<sup>[4]</sup>。比如在预计到电池使用寿命结束时,该系统能够预先制定替换方案,防止电池突发故障对电池的正常工

#### 4.5 大规模储能系统高级案例的具体分析

随着电力电子化的发展,抽水蓄能电站的运行效率和智能程度不断提高。抽水蓄能电站采用电力电子变换器将电能转化为机电能,在此过程中电力电子器件既要完成电能的传输,又要利用复杂的控制策略对能源进行精准调度与优化配置。在抽水蓄能电站运行过程中,引入了远程监测、物联网等技术,使其运行管理更为方便快捷。通过对电厂进行远程监测,可以对电厂的运行状况进行实时监控,并对可能出现的问题进行处理,保证电厂的安全、稳定运行。与此同时电力电子化也推动了抽水蓄能电站与其它储能方式的融合,例如与蓄电池储能等,从而提升储能系统的综合性能与经济效益。

### 5. 结论与展望

#### 5.1 研究成果总结

该项目是对电力电子技术在储能领域的广泛应用的深入探索,并已获得较好的结果。对储能技术(如电池储能、超级电容器储能和飞轮储能)的多样化分类进行了系统的梳理,并对其各自的特点和应用难点进行了深入分析,为储能系统的优选奠定了理论基础。功率电子器件是实现能量存储与外界能量交换的重要接口。本项目将对能量存储系统中功率电子接口的关键地位、不同能量存储方式下的特殊使用要求和设计考虑进行深入分析。同时,对功率电子变流器作为高效能电能转化的核心装备,从切换元件的优化选取、先进控制策略的应用、滤波器的精细化设计、综合保护的优化、效能的不断优化等方面进行系统的研究,以期对变流器的创新设计和高效能的运行提供科学依据。同时,结合典

型实例,对功率电子器件在储能系统的应用、能量转化与控制策略的优化、储能系统的综合应用、储能系统的故障诊断与健康

#### 5.2 未来研究方向

未来研究方向需深入研究新型电力电子器件及其在储能系统中的应用潜力,如宽禁带半导体材料(如 SiC、GaN)器件的引入,以进一步提升电力电子变换器的效率和可靠性。智能控制算法与电力电子技术的深度融合将成为研究热点,通过引入人工智能、机器学习等先进技术,实现储能系统能量转换与控制的智能化、自适应化。电力电子技术在多类型储能系统协同优化方面的作用也值得深入探讨,如何通过电力电子技术实现电池、超级电容器、飞轮等多种储能形式的综合管理与优化调度,提升储能系统的整体效能和经济性,是未来研究的重要方向。同时,随着物联网和大数据技术的发展,电力电子技术在储能系统中的远程监控与运维管理也将面临新的机遇和挑战,如何利用这些技术提升储能系统的智能化运维水平,降低运维成本,也是未来研究的重要课题。探索电力电子技术在新型储能技术(如液流电池、压缩空气储能等)中的应用,将为实现储能技术的多元化、可持续发展提供有力支持。

#### 参考文献

- [1]朱乃璇.考虑不确定性与惯量支撑的输配电系统储能优化配置研究[D].浙江大学,2023. DOI:10.27461/d.cnki.gzjdx.2023.000825.
- [2]徐镇涛.规模化储能惯量评估与协同控制方法[D].湖南大学,2023. DOI:10.27135/d.cnki.ghudu.2023.001043.
- [3]姚良忠,邓占锋,李建林,等.规模化储能技术进展及其在高比例可再生能源和电力电子设备电力系统中的应用[J].全球能源互联网,2021,4(05):425-426. DOI:10.19705/j.cnki.issn2096-5125.2021.05.001.
- [4]李向超.超级电容器在电力电子系统中的应用——评《超级电容器及其在储能系统中的应用》[J].电池,2021,51(02):217-218.

作者简介:唐大清(1997.09)男 汉族 助理工程师 本科 籍贯 四川省仪陇县 所学专业 电气工程及其自动化 主要从事工作 特高压直流输电换流站运维