

# 高频变压器在清洁能源储能领域的应用趋势

## The Application Trend of High-frequency Transformer in the Clean Energy Storage Field

彭万青 陈建 周水萍 吴燕君

Wanqing Peng Jian Chen Shuiping Zhou Yanjun Wu

深圳市万志宇科技有限公司 中国·广东 深圳 518000

Shenzhen Wan Zhiyu Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

**摘要:** 近年来,随着电力电子技术的进步,大量应用现代电力电子技术的高频高压电源因其重量轻、安全可靠、体积小、智能化高等各种优点,在雷达、电化学、激光技术、静电喷涂、静电除尘等领域得到了广泛应用。高频变压器作为电源的核心组成部分,发挥了能量转换、安全隔离、升压的作用,其性能参数对电源整机的可靠性、稳定性及效率有着举足轻重的作用。清洁能源的开发和利用是中国能源产业发展的主要趋势,有助于提高能源产业的生态效益和经济效益。论文详细分析了对于清洁能源进行开发利用的方式,同时探讨了高频变压器在清洁能源储能领域的应用趋势。

**Abstract:** In recent years, with the progress of power electronics technology, a large number of high-frequency high-voltage power sources applied in modern power electronics technology, the advantages have been widely used in radar, electrochemistry, laser technology, electrostatic spraying, electrostatic dust removal and other fields. As the core component of the power supply, the high-frequency transformer plays the role of energy conversion, safety isolation and pressure boost, and its performance parameters play a decisive role in the reliability, stability and efficiency of the whole power supply machine. The development and utilization of clean energy is the main trend of the development of China's energy industry in China, which helps to improve the ecological and economic benefits of the energy industry. This paper analyzes the development and utilization of clean energy, and discusses the application trend of high frequency transformer in the field of clean energy storage.

**关键词:** 高频变压器; 清洁能源储能领域; 应用分析

**Keywords:** high-frequency transformer; clean energy storage field; application analysis

**DOI:** 10.12346/peti.v5i1.7508

## 1 引言

改革开放后中国的经济呈现突飞猛进的态势,但在经济快速发展的同时也带来了环境污染问题,特别是大气污染。随着经济的发展,人们对生活环境的要求也越来越高,一个好的空间环境成了人们的迫切需求。随着近几年对大气污染的大力整治,空气质量已大幅改善,重雾霾等极端天气也已呈逐年下降趋势。作为大气污染物的重要治理设备,静电除尘设备以其高净化率、适应性强、维护方便等优点得到广泛应用。但随着越来越严格的环保政策,早期各种供电电源因技术局限及服役年限的增加开始问题频出,已严重影响达标排放。市场开始面临需要有一种更先进、更稳定、更

智能的高压电源设备来满足需求,静电除尘电源技术发展开始面临着进一步的升级换代。研发一种高效率、高可靠性、高稳定性及智能化的高频高压电源既能满足环保要求也将带来巨大的市场需求。高频变压器作为整个项目设计中的难点和重点,变压器的设计参数直接影响到整个电源的各项技术指标,以往的文献资料涉及理论及原理的较多,但真正的系统性的介绍设计实例却很少。论文将重点介绍一款直流输出 1.20A/80kV、频率 36kHz 的大容量高频变压器设计过程。主要就高频下的绕组参数、绝缘问题、变压器分布参数、结构设计等对清洁能源储能领域的影响进行分析及设计,并进行实验验证。

【作者简介】彭万青(1975-),男,中国江西宜春人,本科,高级工程师,从事磁芯元器件研究。

## 2 高频变压器的特点及应用

由于高频变压器具备调速范围大、节约能效高、操作方便等多个优点,并能很简单方便地与其他设备连接起来,在各行各业都得到使用。在使用时高频变压器比直流调速系统要更高效,性能也更加稳定。此外,变频器占用空间不大、运行时比较安静没有噪音,被使用三相异步电动机上,具有低成本和维修方便的优点。减少了生产费用,还简化了工艺流程。变频器的使用能够提升设备的生产率、提升设备的自动化程度、增强产品品质和有效改良生活环境。同时,使用高频变压器能够节省能源和减少企业生产费用。

高频变压器简化了工艺过程,能够节减能源和守卫环境,这就是为什么高频变压器在当前全球能源短缺、环境逐渐被破坏的情形下,能够更多地被国家和企业应用。符合能源发展战略,使人文经济和自然环境配合得当<sup>[1]</sup>。

## 3 中国清洁能源的发展现状

### 3.1 清洁能源开发难度大

中国的清洁能源储量还是非常大的,不过因为各方面因素的影响,所以在进行开发的时候也会有很多的问题。一方面,因为中国的地形是非常复杂的,很多的储藏区域并不适合进行开发,这里的清洁能源无法得到有效的利用。例如,西南部的高山、水资源非常丰富,而西北部又有大量的风能,可是这些地区环境都是非常恶劣的,所以工程建设的难度非常大,进度也非常慢。另一方面,当前对于清洁能源的勘察还有很多问题,开发成本还太高,无法将清洁能源的价格优势体现出来,所以,企业对于清洁能源的开发利用都缺少动力。

### 3.2 清洁能源产业化存在困难

为了能够更有效地对清洁能源进行应用,需要建立完善的清洁能源产业链条,加深人们对于清洁能源的认识,改变我们的能源应用结构,不过因为对清洁能源应用的时间还不长,所以相关的经验也比较欠缺,我们还是有着很多需要改进的地方的。

目前来说,在清洁能源产业化方面,主要有下面的一系列问题需要解决:

①水能。中国的河流水系是相当发达的,水资源非常丰富,可是因为缺少开发,水资源的作用没有充分发挥出来,很多都被白白浪费了<sup>[2]</sup>。

②风能。进国内对于清洁能源开发是非常重视的,在风能资源比较丰富的地区,都开始建立风力发电设施。2020年间1—9月份风力发电量就达到了971.9亿kWh。风力发电总量在快速增长,不过因为缺少相应的产业链接,所以风能资源的潜力还没有充分地发挥出来,我们还是需要进一步加强对于风能资源的利用。

③潮汐能、地热能。因为地理因素的作用,国内对于潮汐能与地热能的利用率还是非常低的,不止如此,中国这方

面的技术水平也比较差,同样也是一个主要因素。

④核能、氢能。这两种能源的开发潜力都是非常大的,中国也一直在积极地推动着相关产业的发展,也确实取得了很大的进步,不过因为没有形成规模化的配套产业,所以还有很大的欠缺。

## 4 高频变压器在清洁能源储能领域的发展方向

首先,从立体结构向平面结构、多层结构、片式结构、薄膜结构发展。

其次,由于软磁材料不断地发展,随着中国新能源发电的投入加大,对其节能的输配电设备需求也不断增大,高频变压器的发展方向为节能降耗提高性能降低成本,也就是追求最好的性能价格比。

最后,采用计算机对整体结构方案进行优化和具体设计,研究各种新的加工方法、绕线方法。这样可以缩短设计时间,减少材料用量,缩短生产周期,降低成本,朝多领域、特殊规格和定制化的方向发展。

总之,面对能源危机、气候变暖、环境污染的现状,如何降低高频变压器损耗,提高效率,推进节能、环保发展是现在高频变压器的技术现状及发展趋势。

## 5 高频变压器在清洁能源储能领域的设计应用

### 5.1 电路原理

高频高压电源具有体积小、重量轻、集成化好的先天优势。相比于原工频电源,采用三相电源对电网影响小,基本拓扑决定了高频电源还具有效率高、功率因数高、控制响应特性好的优点<sup>[3]</sup>。

采用LC谐振软开关的工作方式,电源具有恒流源的特性,抗输出短路强,可靠性高。电路主要由三相交流输入、三相不控整流、全桥逆变、最后升压整流形成直流高压为电除尘负载供电,高频电源的拓扑结构如图1所示。

### 5.2 大功率高频高压变压器特点简述

大功率高频高压变压器正如同名字所述,既有大功率又交叉高电压与高频率的特点。与以往工频变压器的设计有着本质的区别。主要特征表现为分布电容、高频交流损耗、高压绝缘、漏感、高频铁心选择等问题。电源工作频率高,单位体积的功率密度大幅提高,有效减小了铁心的重量与体积,变压器成本也相应降低。但涡流损耗增加、分布参数、高压绝缘等影响也随之而来,功率密度大热量集中也成为不得不考虑的重要问题。

### 5.3 大功率高频高压变压器设计

高频高压变压器的设计主要包括磁芯参数、线圈参数、结构设计等内容。主要技术要求如下:

- ①工作频率: 1~36kHz。
- ②输入电压: AC 530V。
- ③输入电流: RMS 300A。

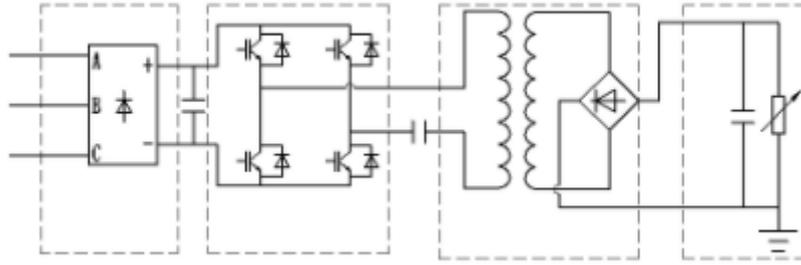


图1 高频电源的拓扑结构

④输出电压：DC 72kV。

⑤输出电流（平均值）：DC 1.2A。

⑥油顶层温升： $\leq 35\text{K}$ 。

### 5.3.1 磁芯参数

随着频率的提高，变压器的体积与重量相对于工频变压器得到了大幅降低，但由于频率的提高，随之而来的磁芯涡流损耗与磁滞损耗导致的高温升，在设计时应引起重视。在选择磁芯时，主要包括以下几个方面要求：

①高的磁导率，高的电阻率。

②材料的温度特性应符合使用场景。

③在设计工作范围内材料具有高饱和磁通和低功率损耗。

④结构形式应满足高电压下的绝缘空间。

技术参数要求变压器的设计额定工作频率为 36kHz，从上表可知纳米晶和 MnZn 铁氧体符合设计要求：由于纳米晶一般为闭口铁心结构，对于线圈绕制工艺难度较大，结合价格因素决定选用 MnZn 铁氧体作为铁芯材料。铁氧体材料具有高电阻率、低损耗、高稳定性等特点在高频功率变压器中应用广泛，根据功率要求我们选用了加高型的 EE320 双拼铁芯，铁芯的有效截面积  $S=64\text{cm}^2$ ，由上表可知铁氧体的饱和磁通密度为 0.3~0.5T，根据电除尘器的负载特性为防止在低频段出现饱和。

### 5.3.2 绕组参数

第一，确定原边匝数。在确定磁芯截面积后变压器的初级匝数主要与损耗、饱和磁通密度、漏感相关。

绕组结构设计主要考虑分布电容、高压绝缘、漏感等参数影响。合理绕组结构能提高主绝缘及层间绝缘的可靠性，并能很好的减小分布电容，我们主要做了以下设计手段：

①初次级采用同轴绕制，在保证绝缘可靠性的前提下，尽量减小主空道的距离，可有效减小漏磁场导致的热效应及电磁干扰；

②次级高压绕组采用 12 组分段再分层 Z 形绕制，经过分段及 Z 形绕制可大幅降低分布电容；

③绕组两端加入软角环可有效改善端部场强畸变情况。

第二，电磁线的确定。在高频电流下不得不考虑趋肤效应和临近效应的影响。在高频变压器里临近效应一般发生在有限近距离内的独立的电场、磁场耦合，如层间、匝间、初

次级间且一般同时存在。为了有效降低趋肤效应和临近效应引起交流电阻增加的影响，我们初级选用  $0.1 \times 1000\text{P}$  多股并绕，次级选用  $0.1 \times 50\text{P}$  单股绕制。

第三，绝缘材料的选择。高频变压器由于体积小，相对绝缘空间小，整个绝缘系统设计应格外引起重视。主要涉及初次级间的主绝缘、与上下铁轭间的端部绝缘、层间绝缘及匝间绝缘等。初次级间的主绝缘我们采用铁氟龙加工的一体式分槽高压骨架，铁氟龙材料耐碱耐酸与绝大多数物质不发生反应，具有很好的化学稳定性。较低的介电常数能很好的降低分布电容，而且有介电损耗低与耐压高的优点。层间绝缘选用美国杜邦化工推出的芳香聚酰胺纸 T410 型绝缘纸，有着高的绝缘特性、机械强度、柔软有弹性，非常适合作为层间绝缘使用。电气特性上有着与变压器油几乎一致的介电常数 (2.5)，能获得较低分布电容及解决局部场强不均匀问题。

第四，整流电路的确定。在高频下由于整流二极管寄生参数的不一致客观存在，系统不可避免地存在均压不良现象，在输出时上部两端承受高电压易导致二极管击穿现象的发生。为了改善这一现象，我们设计采用每 2 个分段绕组串联形成 6 组全桥整流再叠压的方式，分段整流的方式大大降低了每组整流硅堆的电压，可以降低电压反向时硅堆中的二极管承受的电压严重不均匀性，提高了整流硅堆可靠性。每个分段整流硅堆的由于匝比降低，那么二次侧分布电容对逆变器的影响可有效改善。

## 6 结语

综上所述，科技水平在不断提升，清洁能源储能领域对高频变压器的使用需求量也随之增加。基于此，提升电源技术意义重大，这也是有效提升社会经济发展水平的有效措施，因此需重视高频变压器设计与应用的研究分析。

### 参考文献

- [1] 张开放.高频变压器绝缘放电特性发展规律与机理研究[D].济南:山东大学,2021.
- [2] 刘园,王建波.高频变压器在清洁能源储能领域的应用要点[J].建筑工程技术与设计,2021(24):2804.
- [3] 潘凌.高频变压器在清洁能源储能领域的应用分析[J].环球市场,2021(29):239.