

统一电能质量综合治理装置的研制

孟庆东 程丽艳 王永波 任 炜
(山东华天电气有限公司)

摘要: 本文主要介绍了统一电能质量综合治理装置的设计原理与结构组成, 该装置的主要功能是治理电网闪变、中断、谐波、无功、不平衡等电能质量问题。华天电气研制的统一电能质量综合治理装置成功应用在某烟厂, 经测试对比, 可以达到理想的综合电能质量治理效果。

关键词: 统一电能质量综合治理装置; 电压中断; 闪变; 电力谐波; 无功; 不平衡

0 引言

随着用电设备的技术发展和不断更新, 数字式自动化技术设备在工业生产中的广泛应用, 如可编程控制器、变频调速设备、计算机系统设备及各种自动化生产线等敏感性用电设备的大规模使用, 电压暂降、骤升、中断以及谐波、无功、不平衡等电能质量问题所造成的影响和危害日益突出, 这会导致用电设备运行异常、产品质量下降、计算机数据丢失等一系列问题。如何综合治理配电系统电能质量问题, 提供一个安全、稳定、洁净的用电环境是当前行业面临急需解决的问题。

1 电能质量问题影响

1.1 电压暂降危害

电网导致电压暂降的原因包括气候条件、电力公司的设备故障、各种短路故障、大型电动机的起动、雷击等。

在汽车行业中, 大量使用工业机器人, 由机器人控制对金属部件进行钻、切割等精密机械加工或喷

涂设备时, 如果发生电压暂降事件, 机器人的误动作会造成产品报废; 当电压发生暂降时, 若设备对电源电压的变化不能及时做出动作时就有可能引发故障。设备停止工作, 生产的产品质量下降, 会引起整个产品线停止运转, 造成芯片、主板被毁坏。

当电压出现暂降时, PLC 停止工作或切除动作, 造成设备误动作, 轻者造成次品率增加, 严重则会造成员器故障、损坏。表 1 为各种设备对电压敏感的反应。

表 1 设备对电压敏感程度

设备名称	造成的影响
制冷设备 电子控制器	当电压低于 80% 时, 控制器切除制冷电机
芯片制造业	当电压低于 85% 时, 测试和加工设备的电子电路会出现故障, 导致设备停运
PLC	当电压低于 90% 持续几个周波, I/O 设备会误动作, 低于 81% 时 PLC 停止工作
精密机械工 具	当电压低于 90% 持续 2-3 周波, 机器人控制操作中断
直流电机	当电压低于 80% 时, 电动机保护跳闸
调速电机 (VSD)	当电压低于 70%, 持续时间超过 6 个周波, VSD 将切除; 一些精细加工工业的电动机, 当电压低于 90% 持续时间超过 3 个周波时, 电动机就会跳闸
交流接触器	电压低于 50% 甚至 70% 持续时间超过一个周波, 接触器将自动脱扣
计算机	电压低于 60% 持续 12 个周波, 计算机工作将停机

1.2 电压谐波、无功功率及电流不平衡的危害

当频率较高的谐波电流流过导体时，趋肤效应产生更大的热量，导致变压器发出额外的热量，降低变压器的利用率，谐波电流易导致无功补偿装置 LC 回路并联谐振，烧毁设备。谐波电流流过系统阻抗时，产生谐波电压，谐波电压导致数字控制设备，PLC、数控机床等，发生误动作。信号采集系统、测量仪器等的精度降低，电动机发生抖动、过热等问题。无功功率过大，会导致电流增大和视在功率增加，从而使电气设备容量和导线容量增加。使线路及变压器的电压降增大，导致电网电压波动，供电质量降低，严重影响区域电网的整体稳定运行。无功功率增加使总电流增大，设备及线路的损耗也随之增大。当系统中出现电流不平衡时，设备中的电磁力会增大，导致电机、变压器在振动、温升等方面产生较大的影响，从而缩短设备的使用寿命。电力系统中的负载不平衡导致线路阻抗上升，降低系统整体效率。公用电网谐波电压数据如表 2 所示。

表 2 公用电网谐波电压 (相电压)

电网标称电压 /kV	电压总谐波畸变率/ %	各次谐波电压含有率/ %	
		奇次	偶次
0.38	5.0	4.0	2.0
6	4.0	3.2	1.6
10			
35	3.0	2.4	1.2
66			
110	2.0	1.6	0.8

2 统一电能质量综合治理装置的研制

针对上述电能质量问题，山东华天研制了一款用于治理电压暂降、电压暂升、电压中断、谐波治理、无功补偿、三相不平衡校正以及兼具削峰填谷、调峰调频功能的综合电能质量治理装置。如图 1 所示，该装置主要由逆变器、隔离变压器、STS 切换开关、储能系统组成，可在并网系统、孤岛系统和混合

系统等不同的模式下运行。

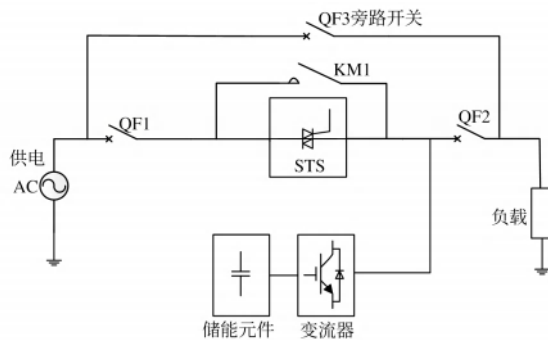


图 1 统一电能质量综合治理装置原理图

2.1 晃电及电压中断综合治理

当统一电能质量综合治理装置检测到电网电压异常，设备会迅速切断晶闸管开关 STS，逆变单元将储能元件的能量逆变为与电网电压跌落前等幅同相位的标准正弦波提供给负载，保障负载设备的稳定运行，如图 2 所示。

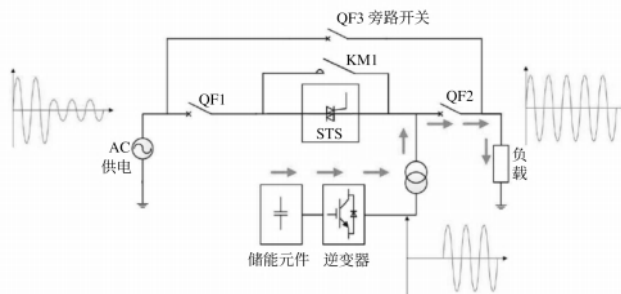


图 2 晃电及电压中断治理工作模式

2.2 电能质量综合治理

目前，治理电网谐波最有效、性价比最高的方法就是采用电能质量综合治理装置，通过治理装置发出与负载谐波电流大小相等、方向相反的谐波注入电网，与负载谐波抵消，从而达到滤除谐波、净化电网的目的，并可有效降低设备的故障率及高压发生谐振的几率。电能质量综合治理装置实时检测分析负载电流、电压波形特性，控制器通过傅里叶理论或瞬时无功理论运算出相应的补偿指令，通过全控功率器件

IGBT 模块主动补偿，补偿特性不受电网频率和系统阻抗的影响。

当装置检测到电网电压正常时，保持晶闸管开关 STS 闭台，通过监测负载的电能治理状况，对负载进行电能治理综合治理，解决负载产生的谐波、无功、不平衡等电能治理问题，净化电网，如图 3 所示。

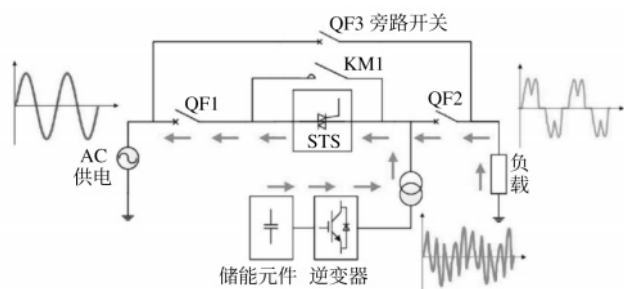


图 3 电能质量综合治理工作模式

2.3 削峰填谷

装置根据电价激励补偿机制，结合用户的用电规律，合理地 对储能元件进行充放电，实现削峰填谷、效益最大化，如图 4 所示。

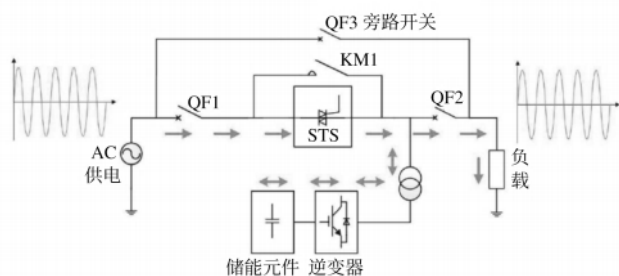


图 4 削峰填谷工作模式

山东华天电气有限公司研制的统一电能质量综合治理装置，是采用国内外最新技术和研究成果，自主开发研制的一种用于动态抑制电力谐波、动态补偿无功功率并校正三相不平衡的新型电力电子设备，其具有以下特点：

1) 主控制器采用多 DSP 协同控制，控制精度高、响应速度快；

2) 采用 FFT 或瞬时无功理论，既可分次滤除谐波，也可全部滤除；同时滤除多达 50 种谐波，最高可滤除至 50 次谐波；对目标谐波，有效滤除能力可达 97%；

3) 山大华天发明专利 201010275272.4 《一种电能质量综合治理装置及其控制方法》，对电能质量综合治理装置与电力系统中的电容器发生谐振的问题进行研究、分析，提出合理的解决方案，并付诸实施，获得了优良的效果，避免了电能质量综合治理装置与电力系统中电容器的自激振荡，提高了滤波器的适应能力；

4) 山大华天发明专利 200910019887.8 《交错驱动 PWM 补偿电流发生器及其控制方法》和 201010180701.X 《交错滞环跟踪补偿电流发生器及其控制方法》，通过补偿电流发生器纹波交错对消技术，大幅降低了输出电流中的开关纹波，从而降低了输出电感，提高了变流器的电流跟踪能力，同时降低了输出电抗器的损耗和噪声；

5) 采用低损耗微晶合金磁芯电抗器，噪声低，效率高。该电抗器所用环形合金磁芯具有饱和磁通密度高、高频损耗低、分布气隙结构等特点，是 HTQF 电能质量综合治理装置高功率密度、高效率、低噪声技术特征的重要保证；

6) 具有谐波、无功综合补偿功能，可分“滤波优先”“无功优先”“只滤谐波”“只补无功”“只补不平衡”“不平衡优先”等十余种工作模式，满足各种配电系统补偿需求；同时具有平衡补偿功能，可平衡各相之间的负载电流。

3 现场应用

某卷烟厂采用的间歇式单轨铰链盖卷烟包装机 G.D X6，连续单轨铰链盖卷烟包装机 H1000，包装、装盒和外包装生产线 C800 等设备均为高度智能化、可

编程的自动化生产线。生产线内部应用大量的 PLC 控制、伺服电机、开关电源等对电压波动比较敏感的设备，同时生产线内部也采用 IGBT、可控硅等半导体元件，自身也会产生谐波电流、无功功率等电能质量问题。电网电压的暂降、中断及谐波易导致生产线设备元器件的损坏，从而造成生产线停产带来较大的经济损失。统一电能质量综合治理装置是用于治理电压暂降、电压暂升、电压中断、谐波治理、无功补偿、三相不平衡校正以及兼具削峰填谷、调峰调频功能的综合电能质量治理装置，能够很好地解决卷烟厂面临的电压、电流综合问题。现场应用图如图 5 所示。



图 5 现场应用图

设备运行前后的对比数据如图 6 所示。

从对比数据中可以明显看出，通过统一电能治理调节器装置的实际效果测试，卷包机系统治理前电流波形畸变，存在大量无功功率和电流不平衡等现象。在经过治理后，电流和电压波形明显改善，电流畸变率由 6.1% 降低到了 4.1%；满足国标《电能质量 公用电网谐波》GB/T 14549-93 中的要求，供电质量得到很大提高，保护用电设备免受谐波的危害。不平衡度由原来的 2.2% 降到了 0.7%；99kVA 的无功补偿后降低到 52.8kVA，功率因数由 0.87 提高到 0.95，甚至可达 0.99。

模拟电网电压异常时，采用手动操作装置输入侧断路器通断方式模拟电压短时中断，从切换波形可以看出，设备存在综合负载时能在 10ms 内正常切换。因为手动通断断路器内部存在拉弧，与电网电压短时

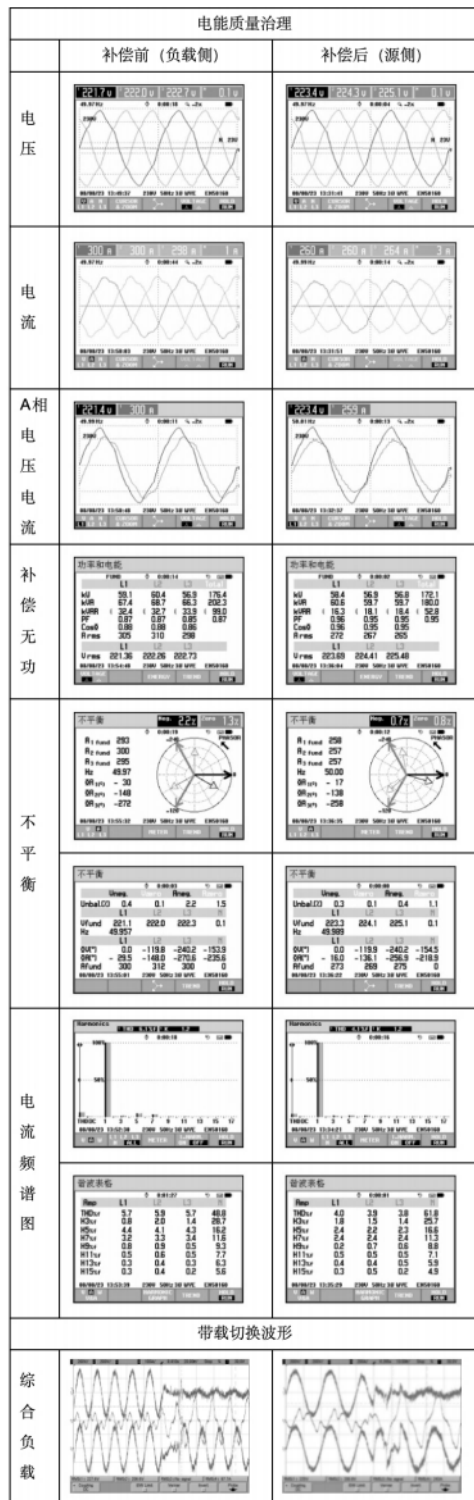


图 6 设备运行前后数据对比

中断和暂降不完全一致，同时装置默认切换时间为10ms，通过现场查看卷包机系统情况，所带四条线中有一条因为电网供电异常停机保护。下一步根据现场实际情况优化统一电能治理调节器装置的切换时间和切换时稳定状态，保障发生晃电时，每条卷包机系统生产线都能连续供电。

4 结束语

以上检测数据显示，经过统一电能质量综合治理装置的补偿，电网的谐波、无功功率及电流不平衡均能达到较好的效果，系统电网电压发生暂降（中断）时，可瞬时提供电压保证生产线的连续运行。通过某卷烟厂生产线电能质量综合情况的治理效果，验证了统一电能质量综合治理装置设计的合理性、治理高效性，为复杂的电能质量问题提供了一个有效的综合解决方案。

参考文献

[1] GB/T14549—1993 电能质量 公用电网谐波—谐

波 [S].

- [2] DL/T1229—2013 动态电压恢复器技术规范 [S].
- [3] GB/T30137—2013 电能质量电压暂降与短时中断 [S].
- [4] 姜齐荣，赵东元，熊建业. 有源电力滤波器结构原理控制 [M]. 北京：科学出版社，2005.
- [5] 陈冬冬. 基于有源电力滤波器的电力谐波治理 [M]. 北京：冶金工业出版社，2021.
- [6] 侯进冲. 静态开关在化工生产中的应用 [J]. 电工技术，2021（10）：46-48.
- [7] 罗皓泽，陈忠，杨为，等. 压接式IGBT和晶闸管器件失效模式与机理研究综述 [J]. 中国电力，2023，56（5）：137-152.
- [8] 姚钢，周荔丹，陈陈，等. 低压配电网的电能质量改善与节能措施的研究和应用 [J]. 电力工业，2012.
- [9] 蔡重凯，赵越，俞永军，等. 基于并联型电压源变换器的统一电能质量控制器 [J]. 电力电容器与无功补偿，2022，43（5）：94-101.

（收稿日期：2024-02-22）