

Impact of charging pile group access on power quality of distribution network and improvement measures

Huanfang Wang Xiaodong Zhu Gang Zeng

Zhejiang Chentai Technology Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325000, China

Abstract

In recent years, with the rapid promotion of electric vehicles, the demand for charging piles for electric vehicles is increasing day by day. When the number of charging pile group access group reaches a certain peak, it will have a great impact on the power quality of the distribution network. At present, there are few studies on the impact of charging pile group access on the power quality of distribution network, and there is still room for the effective scheme to improve the power quality of power grid. Through example analysis and analysis, the paper deeply analyzes the impact of charging pile group access on the power quality of the distribution network, and summarizes effective improvement measures, provides theoretical

Keywords

charging pile; distribution network; power quality

充电桩群接入对配电网电能质量的影响及改善措施

王焕芳 朱晓东 曾刚

浙江晨泰科技股份有限公司, 中国·浙江 温州 325000

摘要

近几年伴随电动汽车的快速推广, 电动汽车充电桩的需求日益增长, 当充电桩群接入数量达到一定顶峰时, 其会对配电网的电能质量形成较大影响。目前针对充电桩群接入对配电网电能质量影响相关的研究较少, 对改善电网电能质量的有效方案还有研究的空间。文章通过实例分析方式, 对充电桩群接入对配电网电能质量影响进行深入探析, 并总结提出有效的改善措施, 对日后充电桩群的建设与设计提供理论支持, 对国家电动汽车产业的优化发展与配电网保护具有重要意义。

关键词

充电桩; 配电网; 电能质量

1 引言

伴随新能源汽车的大量推广发展, 有数据显示, 2019年底全国公共充电桩建设与接入数量已经从最初的不足5万个增长至51万个, 而2024年, 全国充电桩的接入数量已经达到了1080万个^[1]。而大量的电动汽车同时充电过程中, 会对国家配电网形成一定程度上的供电压力, 主要因为电动汽车充电的负荷具有一定的不确定性与间歇性特征, 如果长时间在用负荷高峰时期进行大量充电, 那么就会让配电网的用电负荷急剧上升, 对电网的电能质量均有大幅影响。

2 充电桩的基本原理

电动汽车充电设施系统通常包括四个关键组件: 电动车辆充电接口、能量存储系统监控(BMS)、充电服务监控平台及控制中心。该系统的输入部分直接与交流电力网络相接,

而输出端配备充电接口, 专为电动车充电之用。交流充电桩具有操作方便、占地面积小、灵活性高等优势特征, 是电动汽车最基本的充电设施之一^[2]。一般而言, 充电桩在使用过程中, 分为常规充电与快速充电两种模式, 使用者可以利用特定的充电卡, 以刷卡形式在充电桩的操作界面进行使用, 充电完毕, 还可以自行打印充电费用与相关数据信息^[3]。

在充电桩的设计结构上, 一般采取包括单极变换结构与二级变换结构的高频率开关电源技术构成。具体如图1、图2所示。

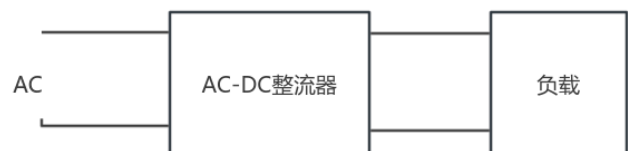


图1 单级变换结构

【作者简介】王焕芳(1984-), 女, 中国陕西合阳人, 本科, 工程师, 从事多模态充电设施智能计量体系构建研究。



图2 二级变换结构

通过上图可知，首先，一级转换体系接纳交流电源需通过一层 AC-DC 转换器直接转换成直流电源向负载供电。转换器电路根据构成元件的不同，可以划分为半控型、可控型以及全控型三类；按照转换器电路的构造，可区分为无桥电路与桥式电路；依照输入交流电源的相位数量，又可细分为单相电路与多相电路。另外，按照变压器次级电流的方向，可划分为单周波电路与双周波电路。鉴于单级隔离式转换器结构相对简约，所需元件较少，使得单级转换器在控制逻辑上较为简洁，仅需一级转换环节。另外，鉴于转换器的输出电压区间较为有限，所以单极变换器不适用输出较宽的电压范围。其次，两级变换结构在输入交流电时，需要经过一级 ACDC 整流器，到 DCDC 变换器进行变换电流，最终输入至负载进行供电。二级调整机构的初始调整器拥有实现电源因数校正的职能，它能显著改善调整器的输入端功率因数，有效降低输入电流中的谐波含量，从而确保向后续级调整器及负载提供更稳定的直流电源。

3 充电桩群接入对配电网电能质量影响的具体分析

3.1 充电桩对电网谐波的影响分析

首先对谐波均方根值与总谐波畸变率进行分析。在充电桩运行期间，非线性负载电流经配电网阻抗传导，会触发不同频率的谐波电压波动，进而造成负荷母线上电压的扭曲现象。值得注意的是，电压扭曲的程度由系统阻抗和谐波电流的强度共同决定。同样类型的谐波负载，由于位置不同，其电压扭曲程度亦有所差异。因此，在频域分析阶段，必须将电压扭曲的周期性分量和电流分量各自展开为傅里叶级数。公式如下：

$$u(t) = \sum_{h=1}^M \sqrt{2U_h \sin(h\omega_1 t + \alpha_h)} \quad (1)$$

$$i(t) = \sum_{h=1}^M \sqrt{2I_h \sin(h\omega_1 t + \beta_h)}$$

由公式（1）可知，角频率 ω_1 表示工频的角速度，采用 rad/s 作为计量单位；变量 h 指代谐波的级数； U_h 和 I_h 分别表示第 n 阶谐波的电压与电流的有效值，其单位为伏特（V）和安培（A）； α_h 与 β_h 则分别指第 n 阶谐波电压与电流的初始相位角，以弧度（rad）为单位； M 表示分析过程中考虑的最高谐波级数，该值依据波形畸变的程度和分析所需的精确度来确定，通常设定为 $M \leq 50$ 。此外，谐波的有效值与基波有效值的比率可以表征特定次谐波的分量大小，这一比率通常称作谐波含量，用 HR_h 来表示。于是，第 h 次谐波的电流含量率 HR_h 可以表达为：

$$HRI_h = \frac{I_h}{I_1} \times 100\% \quad (2)$$

波形的非线性偏差，由谐波引起的对理想正弦波形的偏移，我们用综合谐波畸变率 THD 来量化。该指标反映了所有谐波分量的均方根值平方和的平方根与基波均方根值的比例。因此，电流的综合谐波畸变率 THD_I 计算如下：

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^M I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (3)$$

由公式（3）可知，能够测得电压的有效值 U 、谐波电压占比 HRI_h 以及电压整体的谐波畸变率 $THDU$ 。只需将公式中的电流参数替换为电压参数，便可对谐波电压的阈值和电流的容忍度进行相应分析。

由此可见，在一些低压配电系统中，电压的整体谐波畸变率容许值通常作为基准数值，它为中等电压和高压等级的电压谐波畸变率容许值提供了参考依据。在国内，低压配电系统普遍采用的谐波电压畸变率容许值为 5%。假设在低压配电系统中，电压的总谐波畸变率为 5%，随着配电系统电压等级的提升，其总谐波畸变率呈现降低态势。下图 1、2 为充电桩工作时的电压总谐波畸变率与电流总谐波畸变率状态。

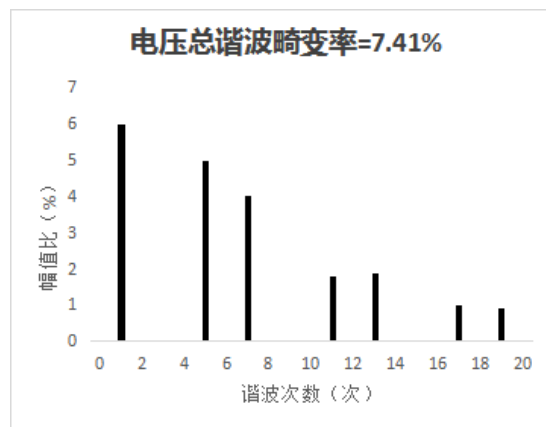


图1 充电桩电压总谐波畸变率状态

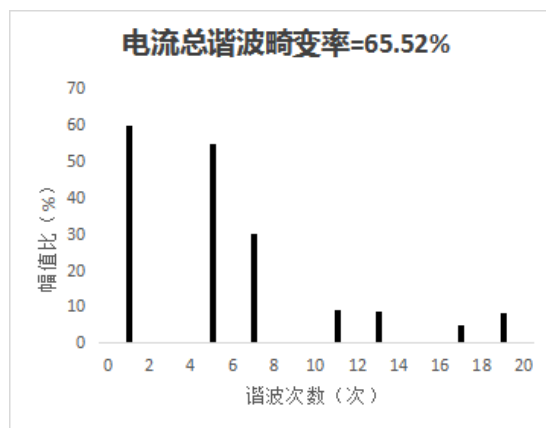


图2 充电桩电流总谐波畸变率状态

通过图1与图2能够看出,在没有运用滤波举措进行干预时,在不可控充电桩的运行过程中,产生的谐波效应尤为显著。据此分析,电压方面的总谐波失真率达到了7.14%,而电流方面的总谐波失真率高达65.53%。进一步计算显示,第5次谐波电流的占比为32.38%,而第7次谐波电流的占比为16.19%,得到的结果显示,充电桩群接入对配电网的影响是比较大的,对配电网的正常运作产生严重的干扰。

3.2 充电桩对电压波动的影响分析

电压的快速波动或连续变化主要表现为电压均方根值的波动。这种电压的波动频率通常低于工频频率。在配电系统中,此类电压的波动较为常见,其变化往往受到系统内环境因素的影响。电压波动形成的波形通常无规律可循。

众多充电桩集中接入配电网进行充电,相当于众多非线性负载同时作用于配电网,而每个充电桩在实际使用中都存在一定不确定性。因此,当充电桩接入配电网时,系统将面临大量不确定性的冲击性负载,这会导致配电网系统内的电压波动长期存在,进而影响系统的稳定性和功率因数,使得功率变化的幅度加大。

4 充电桩群接入对配电网电能质量影响的改善措施

4.1 针对谐波污染的改善措施

通过上述对充电桩群接入对配电网电谐波影响的分析可知,针对电力系统中的谐波污染问题,其优化策略分为积极干预和消极应对两大类。

积极干预策略的核心在于从源头上遏制谐波的生成。具体实施手段包括:提升电力整流设备的脉冲频率,或是采用先进的脉宽调制技术来优化。目前,这类积极干预的手段已经在众多场合得到了推广和使用,然而伴随现阶段配电网系统的不断优化发展,针对电网系统电能质量的要求标准也在日益升高,因此不能够仅依靠主动治理的方式进行,还需配合开展有效的被动治理的方式。

第二种被动治理的方式即选择性地增加有源滤波器、无源滤波器以及混合过滤谐波的仪器进行改善。被动治理的方式是能够完全按照各次谐波的不同含量相对应地选取消除谐波的治理方式。被动治理的方式是可以与主动治理的方式进行结合开展,有助于促使谐波的含量降至最低,提升配电网的电能质量。

首先,无源滤波器具有造价低、结构简单以及使用方便等优势特征。是目前作为被动治理谐波污染的一种基本治理手段的设备。无源滤波器的工作原理主要是通过电容元件与电感元件依据一定的需求,对元件参数提前进行设定、计算需过滤的谐波含量进行消除。同时也可以经由其中的变

换过滤器对谐波次数进行过滤。常见的无源过滤器包括单调谐波过滤器与高通谐波过滤器两种,单调滤波器是电容与电感元件进行串联形成的,其拥有与低次谐波频率相同的谐振频率,能够有效消除低次谐波。高通滤波器主要作用是在配合单调滤波器时,针对特定谐波次数进行有效消除的关键组件,它通过精确分析确定需消除的谐波次数后,对谐波进行过滤与消除。

其次,相较于无源滤波器,有源滤波器展现出更为卓越的性能,其在控制性和稳定性方面表现更为优越,并具备迅速反应和高效功率因数的显著特点。目前,有源滤波器已被广泛应用。此外,有源滤波器的作用也从单纯抑制谐波逐渐转向优化电力系统电能质量。有源滤波器的工作机制基于自换相的电力半导体桥式变流器,通过生成与负载谐波电流大小相等、相位相反的电流,以抵消负载中的谐波,从而使配电网的电流波形回归至正常状态。有源滤波器主要分为并联式、串联式和混合式三种类型。其中,常见的充电桩的谐波电流均是采用并联型有源滤波器进行谐波消除工作的。

4.2 针对电压波动的改善措施

由于充电桩群在工作过程中,电动车辆普遍采用高功率快速充电技术来补充能量,这一过程不可避免地引发显著的电压冲击,这成为电网电压波动和转变的主要动因。此外,电网的电压波动和转变的幅度是由系统的短路承受能力、电动汽车的电力需求特性以及电网架构三者共同影响的。因此,针对电压波动的改善措施可以从这个方面进行考虑。具体措施如下:提议增强配电网的供电水平。供电企业应为新建的充电站点架设独立的供电网络,这样做有助于减轻配电网电压品质所受的影响。另外,也应采取多元化的策略,以高效应对电压波动的相关问题。

5 结语

综上所述,近年来随着新能源汽车逐步普及,市场对充电设施的需求持续攀升。但是当大规模的充电桩群接入配电网中,会对电网系统的电能质量产生十分严重的影响。需要电力部门积极掌握有效的改善措施,针对充电桩接入对配电网电能质量的影响进行有效处理。有助于提高配电网电能质量,促进新能源汽车的可持续发展,对国家绿色发展的道路具有重要意义。

参考文献

- [1] 陈海鹏,唐俊敏,吴昊,等.考虑电动汽车无功补偿与不确定性的配电网-电动汽车有功无功协同优化[J].电网技术,1-12.
- [2] 程杉,王豪杰,徐其平,等.含超大功率充电的多类型充电设施两阶段选址定容方法[J].电力系统保护与控制,2024,52(23):33-44.
- [3] 李鹏,刘嘉彦,李佳蔚,等.考虑光伏与电动汽车充电站协同的配电网电压控制方法[J].电力科学与技术学报,2024,39(06):121-130.