

电动汽车充电站在线监测和分析评估系统

周念成¹, 蒲松林¹, 王强钢¹, 姜光学², 曾宪平², 陈敏²

(1. 重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044;

2. 国网四川省电力公司成都供电公司, 四川 成都 610000)

摘要: 设计和开发了一套对电动汽车充电站进行监测、分析和评估的系统。该系统采用基于 PCI 总线的多 DSP 设计结构, 硬件由多 DSP 采集终端、车载终端、嵌入式工控机和接口电路组成。实时采集充电站公共连接点和各充电机的电压、电流, 以此计算出各项电能质量数据, 通过 PCI 总线汇集各项监测数据后对变压器、充电机的运行特性进行分析。利用 GPRS 接收电动汽车运行状态和充电信息, 采用雷达图法对电动汽车状态进行综合评估, 并统计分析电动汽车起始充电时间、起始荷电状态和日行驶里程的概率分布。实际挂网运行结果表明, 该系统稳定可靠, 能为充电站的运行与规划提供大量可靠的实际运行评估数据。

关键词: 电动汽车; 充电站; 监测; 起始充电时间; 荷电状态; 日行驶里程; 评估

中图分类号: TM 61; U 469.72

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.11.003

0 引言

随着电动汽车的推广和应用, 与之相配套的充、换电站等充电设施也在逐步建设^[1]。然而, 充电设施大规模接入电网, 将给电网带来负荷冲击, 并对电网的电能质量、网络损耗、设备利用率等产生不容忽视的影响^[2-3]。其作为典型的谐波源, 谐波电流经电网传递后, 还将对其他负荷、发电机以及监控、计量等设备产生不利影响^[4-6]。目前, 电动汽车充电站处于发展阶段, 亟需构建充电站在线监测分析系统, 为充电站规划和管理提供数据支持。

针对电动汽车及充电机的监测分析, 文献[5, 7-9]分别从电能计量^[5, 7]、汽车行驶及电池信息^[8]、电池能量管理^[9]等方面单独设计监测平台, 但电动汽车及充电机自身状态信息检测还须配合充电站整体的监测。文献[10]根据配置交、直流充电和电池更换等不同类型充电设施的充电站结构构建监控系统, 据此, 文献[11]将其分为平台层、支撑服务层、公共服务层和应用层 4 层, 给出了各分层软件实现方案。文献[12]以 IEC61970/61850 为基础, 建立了充电站系统模型、设备信息模型、通信模型, 形成充电站监控系统建模方案。对电动汽车起始充电时间、起始荷电状态等充电特征量进行监测, 是评估电动汽车充电负荷需求及其对电网影响的基础^[13-14]。上述文献主要对充电站电气量和电能质量进行监测, 国内外还没有专门针对电动汽车充电特征数据的在线监测及评

估系统。为此本文开发基于多 DSP 的电动汽车充电站在线监测与分析评估系统, 实现了对电动汽车充电特征数据的统计分析, 利用雷达图法对电动汽车状态进行评估。

1 系统功能设计

电动汽车充电站在线监测和分析评估系统由电能质量采集终端和分析评估系统组成, 完成对充电站电气量、开关量和电动汽车充电数据的采集和分析。电动汽车运行和充电数据包括: 起始充电时间、起始荷电状态和日行驶里程。监测的电气量包括: 公共连接点和各充电设施的有功、无功、视在功率和功率因数, 电压、电流不平衡度; 有功、无功电量; 电压、频率偏差; 电压、电流三相不平衡度; 谐波电压、电流的幅值及相位, 各次电压、电流谐波的含有率和总畸变率。其中充电特征数据在电动汽车每次充电完成后进行记录, 电压及频率偏差、三相不平衡度、谐波监测的记录周期为 3 s, 其他监测量实时显示。

电动汽车充电站在线监测和分析评估系统结构如图 1 所示, 图中充电站安装了 $n+1$ 台电能质量采集终端, 分别监测配电变压器高、低压侧以及各台充电设施的电能质量, 并通过以太网将监测的电气量数据和开关量数据传输给分析评估系统。同时, 电动汽车还通过 GPRS 网络将运行和电池数据远程传给分析评估系统。分析评估系统对变压器、充电机的运行特性进行分析, 统计分析电动汽车充电特征数据的分布规律, 并根据监测参数对电动汽车的状态进行综合评估, 具体内容包括以下 3 个方面。

a. 充电机特性分析。 根据充电数据显示不同充电功率下, 充电机交流侧电流总谐波畸变率、不平衡度和功率因数。

b. 配电变压器运行评估。 根据监测数据显示不

收稿日期: 2013-12-08; 修回日期: 2014-10-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51277184); 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室自主研究项目(2007DA10512711209)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51277184) and the Scientific Research Foundation of State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology(2007DA10512711209)

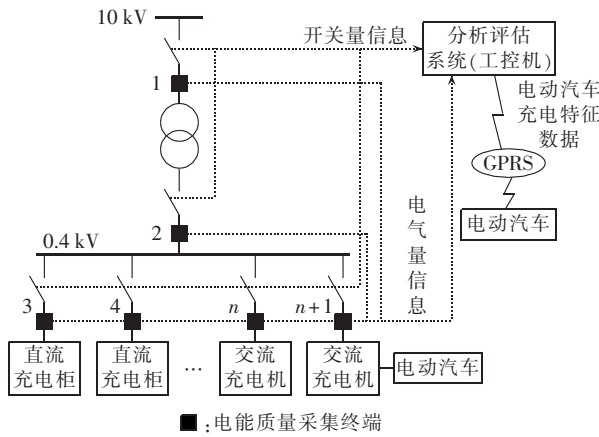


图 1 电动汽车充电站在线监测和分析评估系统结构图
Fig.1 Block diagram of online monitoring, analysis and evaluation system for EV charging station

同负载率下,配电变压器的运行效率、电压偏差、不平衡度和总谐波畸变率。

c. 电动汽车状态综合评估。利用雷达图综合评估电动汽车状态、电池效率及寿命、充放电特性、单体电池一致性。

2 电动汽车充电站监测与分析

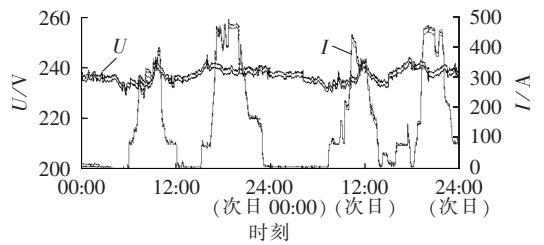
电动汽车充电站监测平台中采用快速傅里叶变换(FFT)算法和 IEC 标准推荐的测量方法对常规电能质量指标进行测量^[15],本节仅介绍充电站监测分析的 3 项关键技术:充电机和变压器特性分析、充电站谐波监测与电动汽车状态综合评估、充电特征数据统计分析。

2.1 充电机和变压器运行特性分析

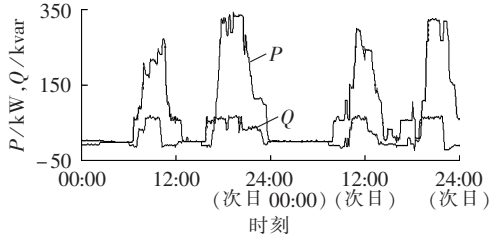
2.1.1 配电变压器运行分析

电动汽车充电将使配电变压器绕组的温度升高,缩短变压器的使用寿命。实际运行充电机的各次电流谐波作用会导致变压器产生额外损耗。以某电动公交车充电站监测结果为例,图 2 为 2013 年 5 月 6 日和 5 月 7 日的充电站配电变压器低压侧三相电压有效值 U 、电流有效值 I 及总的有功功率 P 和无功功率 Q 的变化情况。可见,该电动公交车充电站主要在 06:00—12:00 和 15:00—23:00 这 2 个时段为电动公交车充电,充电站峰值功率约为 300 kW。该电动公交车不同负载率 β 下配电变压器的运行效率 η 和低压侧电压总谐波畸变率 THD_u 的变化情况见图 3。

图 3(a)中配电变压器效率随负载率增加逐渐趋于饱和,其负载率在 0.37~0.52 范围内时效率最高。由图 3(a)还可知,充电站中配电变压器大部分时间运行于 0.12~0.32 的低负载率情况,在变压器选择时须确保其工作负载率与最优负载率范围尽可能匹配。图 3(b)显示充电站电压总谐波畸变率随变压器负载率的变化情况,可见随着充电功率的增加,配电



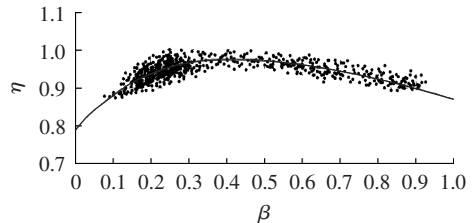
(a) 电压和电流有效值



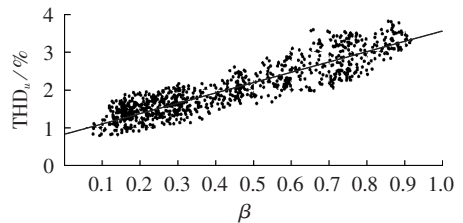
(b) 有功和无功功率

图 2 变压器低压侧运行情况

Fig.2 Operating conditions at low-voltage side of distribution transformer



(a) 配电变压器效率



(b) 电压总谐波畸变率

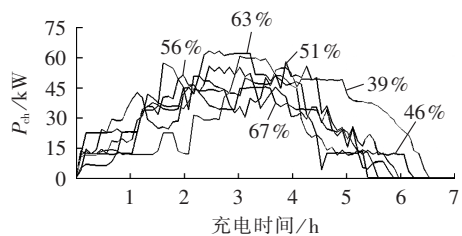
· 统计值, — 拟合值

图 3 变压器效率和电压总谐波畸变率随负载率变化
Fig.3 Operating efficiency and total harmonic distortion of distribution transformer, varying with load rate

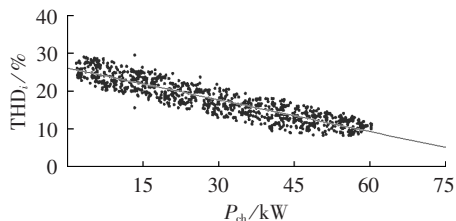
变压器谐波压降增大,使得其低压侧电压总谐波畸变率随负载率呈线性上升趋势。此外,笔者还对不同负载率下配电变压器高、低压侧的电压偏差和不平衡度进行监测,限于篇幅,在此不作赘述。

2.1.2 充电机特性分析

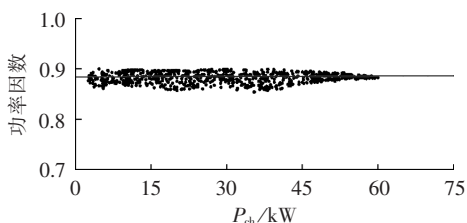
根据充电站实测结果可知,充电负荷一天内有 2 个波峰出现,对于单台电动汽车一天内通常只进行 2 次充电。图 4(a)显示不同起始荷电状态下额定功率 75 kW 的充电机在单次充电过程的功率 P_{ch} ,图中各曲线的起始充电时间调整至相同,随着起始荷电状态减小,充电完成所需的充电时间增加,而单次充电峰值功率的出现时刻也逐渐向右移动。图 4(b)和图 4(c)分别为充电机交流侧的电流总谐波畸变率 THD_i 和功率因数随充电功率的变化情况。由图可



(a) 单次充电功率



(b) 电流总谐波畸变率
· 统计值, — 拟合值



(c) 功率因数
· 统计值, — 拟合值

图 4 电流总谐波畸变率和功率因数随充电功率变化
Fig.4 Total harmonic distortion and power factor of EV charger, varying with charging power

知,充电机的电流总谐波畸变率随充电功率的增大呈减小趋势,而其功率因数主要集中在 0.85~0.9 区间,且随着充电功率的增大略微增大。

2.2 充电站谐波监测与电动汽车状态综合评估

2.2.1 谐波及间谐波监测

充电站的谐波主要来自充电机,电网电压经整流器后将在充电机直流电容侧生成脉动的直流电压,作用于负载产生直流电流,该电流再经整流器与交流电网耦合,从而导致充电机的交流电流出现谐波畸变。充电机将向电网注入整次谐波和间谐波电流,其中间谐波与整次谐波相比,还会引起电网电压闪变、干扰谐波补偿设备等危害,因此需对充电站的间谐波进行监测。

充电机的间谐波频谱特性随时间变化,并且具有随机波动的特点。针对间谐波在线检测要求,采用双峰谱线修正算法计算谐波及基波参数,与文献[17]不同,为进一步减小间谐波检测的计算量,直接在频域中将基波和谐波滤除,再进行充电站间谐波的检测。该方法只需计算 1 次 FFT,显著降低了间谐波检测的计算量,更易在充电站电能质量实时监测装置中应用。图 5 为某电动公交车充电站中 2 台 75 kW 充电机额定充电时,充电站公共连接点的电流谐波和间谐波幅值频谱分布。此时,充电站的电流总谐波畸

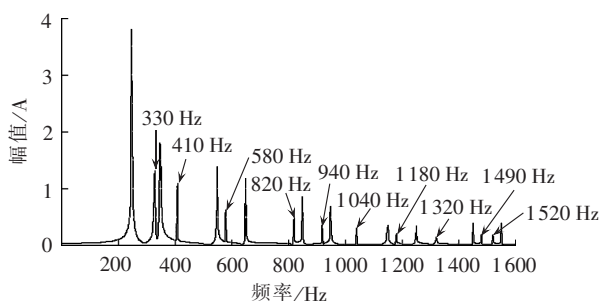


图 5 充电站公共连接点谐波及间谐波频谱
Fig.5 Spectrum of harmonics and inter-harmonics for PCC of EV charging station

变率为 8.38%,其整次电流谐波以 $6k \pm 1$ ($k=1, 2, \dots$) 次为主。图中还给出了间谐波峰值对应的频率,可见充电站间谐波幅值小于两侧整次谐波。

2.2.2 电动汽车状态综合评估

结合电动汽车运行和充电监测数据,选定反映电动汽车状态、电池效率及寿命、充放电特性的各项量化指标进行综合评估,可直观显示电动汽车实时状态,及时反映潜在的故障,辅助判断故障来源。图 6 为电动汽车层次型的指标体系,包括目标层、项目层和指标层 3 个层次,其中目标层分解为项目层 5 个评判项目 $R = \{R_1, R_2, R_3, R_4, R_5\}$,然后继续分解到指标层,例如电池组效率指标分为 $R_1 = \{R_{11}, R_{12}, R_{13}\}$ 。

指标层中单体电池温度、初始荷电状态(SOC)和电池电压匹配系数以电池组中各单体电池的温度、初始荷电状态和电压标准差表示;平均故障间

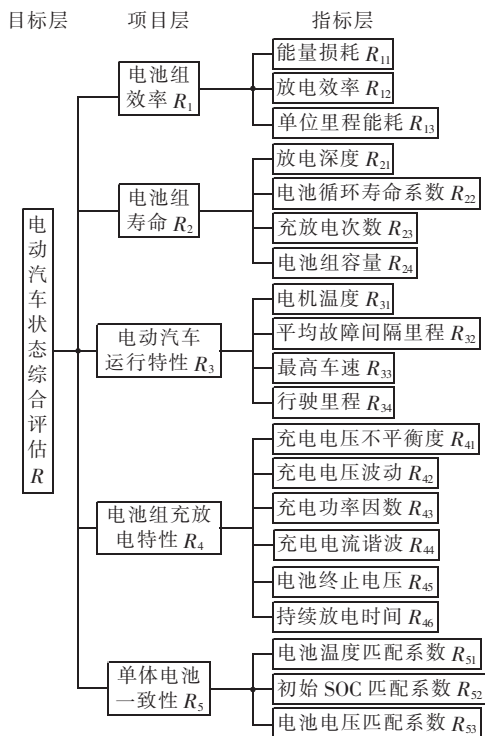


图 6 电动汽车状态综合评估指标体系
Fig.6 Index system of comprehensive evaluation for EV conditions

隔里程为电动汽车故障的间隔里程平均值。考虑不同放电深度下电池循环寿命差异,将电池的历史充放电次数累积,以表征其电池循环运行寿命。设充放电次数为 n , 对应放电深度为 x_1, x_2, \dots, x_n , 则循环寿命系数 R_{22} 为:

$$R_{22} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{N(x_k)} \quad (1)$$

其中, $N(x_k)$ 为电动汽车电池组放电深度为 x_k 时的最大循环次数。结合每次电动汽车行驶和充电过程的监测数据计算得到图 6 的各项指标值, 并根据国标规定将各评估指标按等级量化。

本文采用分层结构的雷达图法^[18-19]对电动汽车状态进行综合评估。首先, 由图 6 中指标层的各项指标对项目层中的电池组效率、电池组寿命等进行评估, 然后由项目层的指标对电动汽车的状态进行综合评估, 评估步骤如下:

a. 将各项指标进行标准化, 结合改进 AHP 主观赋权和客观熵权法, 计算各项指标权重^[17];

b. 以圆心为起点, 垂直向上引出第 1 条单位长度线段 OA , 将第 1 个指标权重转换为角度值, 绘制第 2 条单位长度线段 OB , 同理绘制其余线段;

c. 以圆心为起点, 作每个扇形的角平分线, 将各归一化指标作为角平分线的长度;

d. 依次连接前述外围点形成雷达图, 利用雷达图多边形总面积 S 和周长 C_1 , 得到定量评估值 $\sqrt{SC_1}$;

e. 根据项目层各项指标评估值, 由步骤 a—d 可得电动汽车状态综合评估结果, 再根据不同等级的标准样本数据, 确定待评估样本综合水平。

本文利用前述综合评估方法对电动汽车状态和电池组充放电特性进行评估。首先, 将评估等级分为“优质”、“良好”、“合格”和“较差”4 级, 由标准样本 M_1, M_2, M_3 和 M_4 计算各级评估结果的取值区间。

各级别的标准样本如表 1 所示, 表中还给出电动汽车指标层中各项指标的样本数据 N 。根据评估步骤计算各指标的权重值, 进而可以得到各指标对应的角度值, 如表 2 和表 3 所示。

由标准样本数据可得电动汽车状态和电池组充放电特性的综合评估值区间分别为 $[0, 1.47]$ 、 $(1.47, 4.82]$ 、 $(4.82, 7.82]$ 、 $(7.82, \infty]$ 和 $[0, 1.72]$ 、 $(1.72, 3.82]$ 、 $(3.82, 6.73]$ 、 $(6.73, \infty]$, 分别对应“优质”、“良好”、“合格”和“较差”4 个级别。再利用样本数据可得电动汽车状态和电池组充放电特性雷达图, 如图 7 所示。图 7(a) 和图 7(b) 对应的综合评估值分别为 5.08 和 4.73, 此时电动汽车状态和电池组充放电特性均合格。

2.3 电动汽车充电特征数据统计分析

电动汽车充电负荷受用户行为影响具有时间和

表 1 标准化电动汽车指标样本数据

Table 1 Data of unified EV indices

指标	M_1	M_2	M_3	M_4	N
R_{11}	0	0.06	0.39	1	0.32
R_{12}	0	0.04	0.28	1	0.61
R_{13}	0	0.07	0.38	1	0.19
R_{21}	0	0.08	0.37	1	0.43
R_{22}	0	0.05	0.32	1	0.35
R_{23}	0	0.07	0.37	1	0.32
R_{24}	0	0.06	0.35	1	0.86
R_{31}	0	0.04	0.37	1	1.17
R_{32}	0	0.08	0.29	1	0.42
R_{33}	0	0.05	0.34	1	0.68
R_{34}	0	0.09	0.36	1	0.26
R_{41}	0	0.07	0.29	1	0.36
R_{42}	0	0.05	0.34	1	0.27
R_{43}	0	0.08	0.37	1	0.18
R_{44}	0	0.06	0.39	1	1.26
R_{45}	0	0.04	0.32	1	0.21
R_{46}	0	0.08	0.34	1	0.41
R_{51}	0	0.07	0.37	1	0.56
R_{52}	0	0.05	0.36	1	0.67
R_{53}	0	0.06	0.28	1	0.43

表 2 项目层指标的权重及角度值

Table 2 Weight and angle of indices at project level

指标	权重	角度值/(°)	指标	权重	角度值/(°)
R_1	0.183	65.88	R_4	0.152	54.72
R_2	0.171	61.56	R_5	0.293	105.48
R_3	0.201	72.36			

表 3 电池组充放电特性的权重及角度值

Table 3 Weight and angle of indices for charging/discharging of battery

指标	权重	角度值/(°)	指标	权重	角度值/(°)
R_{41}	0.123	44.28	R_{44}	0.422	151.92
R_{42}	0.144	51.84	R_{45}	0.102	36.72
R_{43}	0.075	27.00	R_{46}	0.134	48.24

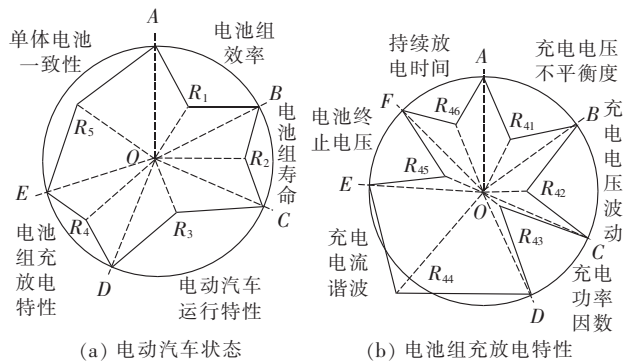


图 7 电动汽车状态综合评估

Fig.7 Comprehensive evaluation of EV conditions

空间不确定性, 同时受电动汽车的开始充电时刻、初始荷电状态、行驶里程等随机因素影响^[13]。用户的起始充电时间越集中, 短期的充电功率需求越大; 而日行驶里程则反映电动汽车耗电量, 行驶里程和初始荷电状态共同决定电动汽车充电的持续时间。因此,

采用对数正态分布、高斯分布等方法对电动汽车的充电特征数据进行统计分析,以得到各充电特征数据的概率密度分布表达式。

根据前述电动公交车充电站在 2012 年至 2013 年公交车充电站监测数据,对其开始充电时间按 00:00—24:00 排列(间隔 10 min),对应的概率密度曲线如图 8 所示。

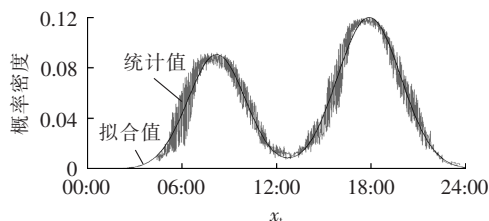


图 8 电动汽车起始充电时间的统计分布及拟合曲线
Fig.8 Statistical distribution and fitting curve of EV start charging time

图中该概率分布具有双峰正态分布特征,因此采用双峰正态分布函数对起始充电时间进行拟合,其拟合的概率密度函数为:

$$f(x_t) = \frac{p}{\sqrt{2\pi}\sigma_{t1}} e^{-(x_t - u_{t1})^2 / (2\sigma_{t1}^2)} + \frac{q}{\sqrt{2\pi}\sigma_{t2}} e^{-(x_t - u_{t2})^2 / (2\sigma_{t2}^2)} = 0.09022 e^{-(x_t - 8.209)^2 / 6.605} + 0.1195 e^{-(x_t - 17.84)^2 / 8} \quad (2)$$

其中, x_t 为起始充电时间; p 和 q 为 2 个正态分布各占的比例,满足 $p+q=1$; u_{t1} 和 u_{t2} 为 2 个正态分布的均值; σ_{t1} 和 σ_{t2} 为 2 个正态分布的标准差。根据图 8 所示起始充电时间的拟合曲线和原始统计曲线,拟合相似系数为 0.9526,通过置信度为 95% 的 F 检验,可见电动公交车的起始充电时间满足双峰正态分布。

对初始荷电状态进行对数正态分布拟合,拟合结果如图 9 所示,拟合的概率密度函数如下:

$$f(x_s) = \frac{1}{x_s \sqrt{2\pi}\sigma_s} e^{-(\ln x_s - u_s)^2 / (2\sigma_s^2)} = \frac{3.1273}{x_s} e^{-(\ln x_s + 0.4715)^2 / 0.0326} \quad (3)$$

其中, x_s 为初始荷电状态; u_s 和 σ_s 为对数正态分布均值和标准差。

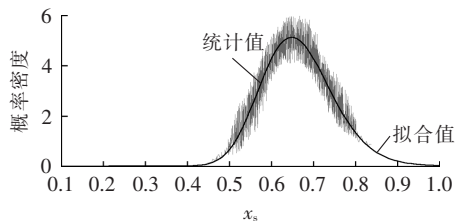


图 9 电动汽车初始荷电状态的统计分布及拟合曲线
Fig.9 Statistical distribution and fitting curve of EV initial state of charge

对相邻 2 次充电过程中电动汽车的行驶里程数据进行对数正态分布拟合,拟合结果如图 10 所示,

得到相应的概率密度表达式如下:

$$f(x_d) = \frac{1}{x_d \sqrt{2\pi}\sigma_d} e^{-(\ln x_d - u_d)^2 / (2\sigma_d^2)} = \frac{1.5354}{x_d} e^{-(\ln x_d - 4.4419)^2 / 0.1351} \quad (4)$$

其中, x_d 为行驶里程; u_d 和 σ_d 为对数正态分布的均值和标准差。

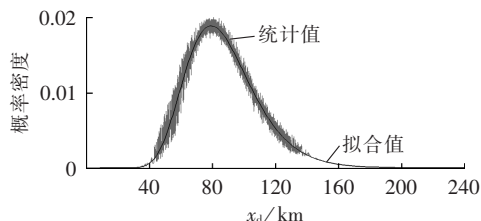


图 10 电动汽车日行驶里程的统计分布及拟合曲线
Fig.10 Statistical distribution and fitting curve of EV daily mileage

根据图 9 和图 10 的电动汽车初始荷电状态和行驶里程的统计数据 and 拟合结果,两者的拟合曲线与统计数据相似系数分别为 0.984 和 0.9827,并且均通过了置信度为 95% 的 F 检验。采用对数正态分布能够很好地表征电动汽车的行驶里程数据,这与文献[16]根据美国居民出行调查(NHTS)统计数据得到的结论一致。由于每次基本充满后电动汽车开始行驶,因而初始荷电状态与汽车行驶里程具有很强的线性相关性,也满足对数正态分布。

3 硬件及软件设计

3.1 硬件系统设计

电动汽车充电站在线监测平台需对充电站多个节点电压、回路电流、多台电动汽车运行状态和充电信息进行实时采集,再计算充电站的各项监测指标,并利用前述方法进行综合分析。针对充电站多回路监测和电动汽车信息远程采集,采用多 DSP 和工控机构建电动汽车充电站在线监测平台,其总体硬件结构如图 11 所示,主要由以下 4 个部分构成。

(1) 采集终端:配置 $n+1$ 个分布式采集终端,每个终端采集 4 路电压、4 路电流和开关信号,其中利用 DSP 的不可屏蔽中断(NMI)、捕获器(CAP)和定时器(TIME)实现同步交流采样。

(2) 车载终端:配置 m 个车载终端,将相应电动汽车车辆信息(包括编号、位置、速度和里程等)和蓄电池充电信息(包括充电状态、次数、电压、电流、电池温度和荷电状态等),按 1 min 时间间隔经 GPRS 模块发送至工控机。

(3) 工控机:提供充电站和电动汽车监测数据读取、数据统一管理,实现充电特征数据统计、电动汽车状态综合评估和充电机及变压器特性分析,完成装置人机交互、数据通信功能。工控机采用 APN 专

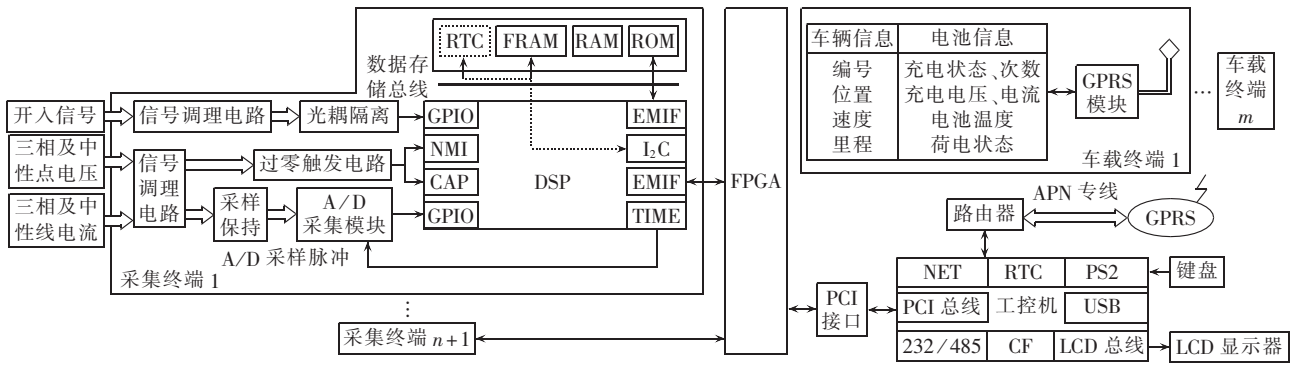


图 11 硬件设计结构图

Fig.11 Block diagram of hardware design

线传输方式,实现与车载终端 GPRS 数据传输。

(4) FPGA 和 PCI 接口:两者共同实现工控机 PCI 总线与多个 DSP 的数据交换,由于 PCI 接口芯片与 DSP 时钟频率不一致,须在 FPGA 中设置双口 RAM 用于缓存数据。

3.2 软件系统设计

电动汽车充电站软件分析系统包括车载终端软件、采集终端软件和工控机软件 3 个部分。车载终端软件系统包括初始化、数据传输请求与应答、GPRS 数据发送等模块,初始化成功后启动 GPRS 模块连接网络,并发送数据传输请求至工控机,之后按照工控机的应答需求发送采集数据。图 12 显示了采集终端和工控机的软件系统结构。其中 DSP 软件系统包括 5 个部分,即平台初始化、采样脉冲触发、A/D 采样、数据处理、数据存储及传输。A/D 采集程序主要包括 A/D 转换、校准等功能;而采样脉冲触发程序则是利用 DSP 定时器启动 A/D 转换,其在读取转换结果时通过 DSP 外部中断的方式实现,须与 A/D 采样配合进行。DSP 数据处理程序主要完成充电站电气量的有效值、频率和相位测量、各项电能质量指标计算;再由传输程序将数据存储到 FPGA 的双口 RAM 中完成采集。

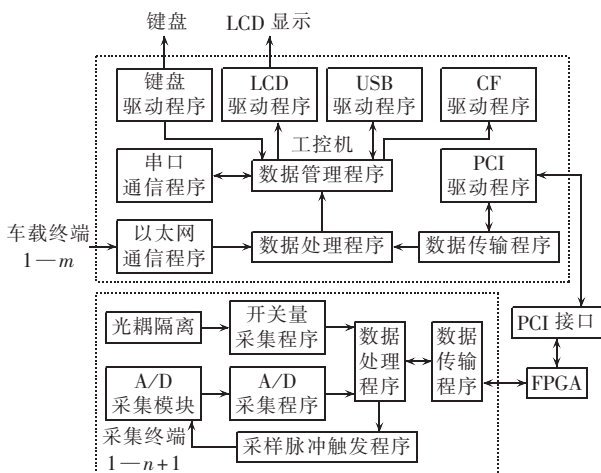


图 12 软件设计结构图

Fig.12 Block diagram of software design

工控机软件系统用于实现电动汽车充电站各测点的电能质量、电动汽车充电特征数据的统一管理和综合分析。工控机软件系统包括数据传输程序、数据处理及管理程序、以太网通信程序(接收车载终端数据)以及相关驱动程序。其主要功能可分为:实时电气量监测;历史数据查询;充电特征数据统计分析;电动汽车状态综合评估;充电机及变压器运行特性评估;以及系统日志、登录密码设置、系统时间、出厂设置、系统信息等基本系统设置功能。

4 技术特点

(1) 灵活高效的数据采集方式。通过 APN 专线接入 GPRS 网络,实现车载终端与工控机的数据传输;采用 FPGA 实现多 DSP 与 PCI 的连接,实现电能质量采集终端与工控机的高速数据传输。

(2) 全面的电动汽车充电站在线监测。实时监测公共连接点和各充电机交流侧的谐波、频率偏差、不平衡度等电能质量指标,并通过远程终端采集电动汽车行驶状态数据(如行驶里程、车速等)和充电信息(如充电机直流侧的电压、电流和蓄电池的荷电状态)。

(3) 电动汽车与充电站主要设备的全方位评估。利用雷达图直观显示电动汽车电池及整车状态;直观地评估配电变压器效率、高压和低压侧的电压偏差、不平衡度和谐波与负载率的关系;直观地展示各充电机交流侧谐波、不平衡度和功率因数随充电功率的变化规律。

(4) 快速的间谐波检测算法。采用基于频域滤波的间谐波在线检测算法,对采样信号进行 1 次 FFT 计算,在频域中消除基波和谐波分量后,再进行间谐波检测。这样既保证了测量精度,又显著减少了计算量,适合用于在线监测装置。

(5) 电动汽车充电时、空特征数据的统计分析。利用双峰正态分布或对数正态分布对电动汽车起始充电时间、日行驶里程等进行拟合,得到它们的概率密度表达式,以此作为监测区域充电负荷计算和分

析电动汽车充电行为与配电网交互影响的基础。

5 结论

本文提出的电动汽车充电站在线监测平台的软硬件方案和技术,能够完成充电站、各台充电机和配电变压器的运行特性、电动汽车状态及其充电特征数据的在线监测和分析。电动公交车充电站的监测数据表明,电动公交车起始充电时间满足双峰正态分布;初始荷电状态和日行驶里程满足对数正态分布;充电站的配电变压器大部分时间运行于低负载率下,选型时其工作负载率应与最优负载率尽可能匹配;除整次谐波外充电机交流侧还会有间谐波电流注入电网,其电流总谐波畸变率随充电功率增加而减小。目前,研制的充电站监测分析系统已挂网运行一年,其间进行了2次软件升级,经现场测试各项性能指标均满足实际运行要求。利用装置投运后的记录数据,不仅能够直观地监测充电站及各充电设施的运行状态,还为分析充电站对电气设备、电网产生的影响提供可靠数据和充分依据。

参考文献:

- [1] 胡泽春,宋永华,徐智威,等. 电动汽车接入电网的影响与利用[J]. 中国电机工程学报,2012,32(4):1-11.
HU Zechun,SONG Yonghua,XU Zhiwei,et al. Impacts and utilization of electric vehicles integration into power systems[J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(4):1-11.
- [2] 高赐威,张亮. 电动汽车充电对电网影响的综述[J]. 电网技术,2011,35(2):127-131.
GAO Ciwei,ZHANG Liang. A survey of influence of electric vehicle charging on power grid[J]. Power System Technology,2011,35(2):127-131.
- [3] ETEZADI A M,CHOMA K,STEFANI J. Rapid charge electric vehicle stations[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2010,25(3):1883-1887.
- [4] GÓMEZ J C,MORCOS M M. Impact of EV battery chargers on the power quality of distribution systems[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2003,18(3):975-981.
- [5] 赵伟,孟金岭,陈锐民,等. 电动汽车充换电设施电能计量及溯源方法[J]. 电力系统自动化,2013,37(11):113-118.
ZHAO Wei,MENG Jinling,CHEN Ruimin,et al. Accurate measurement and traceability method of electrical energy for charging and discharging devices of electric vehicles[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(11):113-118.
- [6] 李惠玲,白晓民. 电动汽车充电对配电网的影响及对策[J]. 电力系统自动化,2011,35(17):38-43.
LI Huiling,BAI Xiaomin. Impacts of electric vehicles charging on distribution grid[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(17):38-43.
- [7] 罗志坤,罗安,徐先勇,等. 电动汽车充电机电能集成监测系统的设计[J]. 高电压技术,2011,37(2):338-345.
LUO Zhikun,LUO An,XU Xianyong,et al. Design of power integration monitoring system of electric vehicle charger[J]. High Voltage Engineering,2011,37(2):338-345.
- [8] 杨亚联,曹紫微,秦大同. 混合动力汽车参数远程监控系统的开发[J]. 重庆大学学报,2010,33(8):69-74.
YANG Yalian,CAO Ziwei,QIN Datong. Development of the remote data supervisory system of the hybrid-electric vehicle[J]. Journal of Chongqing University,2010,33(8):69-74.
- [9] 符晓玲,商云龙,崔纳新. 电动汽车电池管理系统研究现状及发展趋势[J]. 电力电子技术,2011,45(12):27-30,89.
FU Xiaoling,SHANG Yunlong,CUI Naxin. Research and development trend on battery management system for EV[J]. Power Electronics,2011,45(12):27-30,89.
- [10] 严辉,李庚银,赵磊,等. 电动汽车充电站监控系统的设计与实现[J]. 电网技术,2009,33(12):15-19.
YAN Hui,LI Gengyin,ZHAO Lei,et al. Development of supervisory control system for electric vehicle charging station[J]. Power System Technology,2009,33(12):15-19.
- [11] 赵明宇,王刚,汪映辉,等. 电动汽车充电设施监控系统设计与实现[J]. 电力系统自动化,2011,35(10):65-69.
ZHAO Mingyu,WANG Gang,WANG Yinghui,et al. Design and implementation of a supervisory and control systems for charging facilities of electric vehicles[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(10):65-69.
- [12] 胡勇,郭子健,刘奇峰,等. 基于 IEC61970/61850 的电动汽车充电站监控系统建模方案[J]. 电力系统自动化,2013,37(2):91-96.
HU Yong,GUO Zijian,LIU Qifeng,et al. Modeling scheme of supervisory control system for electric vehicle charging station based on IEC61970 and IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(2):91-96.
- [13] 刘鹏,刘瑞叶,白雪峰,等. 基于扩散理论的电动汽车充电负荷模型[J]. 电力自动化设备,2012,32(9):30-34.
LIU Peng,LIU Ruiye,BAI Xuefeng,et al. Charging load model based on diffusion theory for electric vehicles[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(9):30-34.
- [14] 罗卓伟,胡泽春,宋永华,等. 电动汽车充电负荷计算方法[J]. 电力系统自动化,2011,35(14):36-42.
LUO Zhuowei,HU Zechun,SONG Yonghua,et al. Study on plug-in electric vehicles charging load calculating[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(14):36-42.
- [15] 肖湘宁. 电能质量分析与控制[M]. 北京:中国电力出版社,2004:71-74.
- [16] QIAN K J,ZHOU C K,ALLAN M,et al. Modeling of load demand due to EV battery charging in distribution systems[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2011,26(2):802-810.
- [17] 周念成,池源,王强钢,等. 并网光伏电站在线监测与状态评估系统[J]. 电力自动化设备,2012,32(10):6-11.
ZHOU Niancheng,CHI Yuan,WANG Qianggang,et al. On-line monitoring and state evaluation system for grid-connected PV generation station[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(10):6-11.
- [18] 乔鹏程,吴正国,李辉. 基于改进雷达图法的电能质量综合评估方法[J]. 电力自动化设备,2011,31(6):88-92.
QIAO Pengcheng,WU Zhengguo,LI Hui. Power quality synthetic evaluation based on improved radar chart[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(6):88-92.
- [19] 李国栋,李庚银,杨晓东,等. 基于雷达图法的电能质量综合评估模型[J]. 电力系统自动化,2010,34(14):70-74.
LI Guodong,LI Gengyin,YANG Xiaodong,et al. A comprehensive

sive power quality evaluation model based on radar chart method [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34 (14): 70-74.

作者简介:

周念成(1969—),男,重庆人,教授,博士,从事电力系统自动化、电能质量方面的教学和研究工作(E-mail:cee_nczhou@cqu.edu.cn);



周念成

cqu.edu.cn);

蒲松林(1987—),男,四川南充人,硕士研究生,主要研究方向为电力系统自动化和电能质量(E-mail:jsfpu@cqu.edu.cn);

王强钢(1987—),男,福建晋江人,博士研究生,主要研究方向为电力系统自动化和电能质量。

Online monitoring, analysis and evaluation system for EV charging station

ZHOU Niancheng¹, PU Songlin¹, WANG Qianggang¹, JIANG Guangxue², ZENG Xianping², CHEN Min²

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Chengdu Power Supply Company, Chengdu 610000, China)

Abstract: An online monitoring, analysis and evaluation system for EV (Electric Vehicle) charging station is designed and developed, which adopts the PCI-bus-based multi-DSP structure and consists of multi-DSP acquisition terminal, vehicular terminal, industrial PC and interfacing circuits. The voltages and currents of PCC (Point of Common Coupling) and chargers are collected in real time, based on which, different power quality indices are calculated. All monitoring data are gathered via PCI bus, based on which, the operational characteristics of transformers and chargers are analyzed. The operating and charging information of EV is received via GPRS and the radar map method is applied to comprehensively evaluate the conditions of EV. The probability distributions of EVs' start charging time, initial state of charge and daily mileage are statistically analyzed. The results of practical operation show that, the system is stable and reliable, providing huge practical and reliable data of operation and evaluation for the operation and planning of EV charging station.

Key words: electric vehicles; charging station; monitoring; start charging time; SOC; daily mileage; evaluation

(上接第 13 页 continued from page 13)

Cooperative charging control strategy of electric vehicles based on multi-agent

XU Shaolun, YAN Zheng, FENG Donghan, ZHANG Liang

(Key Laboratory of Control of Power Transmission and Conversion, Ministry of Education, Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Based on the analysis of charging load characteristics and management structure of EV (Electric Vehicle), a charging management mode of EV based on multi-agent is proposed according to the core idea of complex adaptive system. A charging load model of a single EV and an optimal charging model of EV based on multi-agent are built. The Monte Carlo method is applied to simulate the charging performance of EV customers. With the consideration of constraints such as charging power, charging time and available capacity of transformer, an optimal cooperative control charging strategy of EV based on multi-agent is proposed for the problem of EV charging from a 35 kV distribution network. Simulative results show that, the strategy can effectively realize load shifting of EV charging load, reducing peak-valley difference.

Key words: electric vehicles; charging optimization; multi-agent; cooperative control; complex adaptive system; models; electric load management