

DOI: 10.3969/j.issn.1006-4729.2016.01.019

基于银行家算法的电动汽车充电拥塞控制机制

张津玮, 李 婧

(上海电力学院 计算机科学与技术学院, 上海 200090)

摘要:基于计算机网络中的“闭环反馈拥塞控制”和“银行家算法”,设计了电动汽车充电拥塞控制机制.在充电过程中,若出现拥塞,则反馈信息给控制器.系统根据当前状态和银行家算法,在充电桩可能的功率组合中寻找能使变压器负载不超过额定值,且总体所需充满电池时间最短的解,对各个充电桩重新进行功率分配,并反馈新的状态信息到控制器,形成闭环反馈控制.最后,通过一组随机的充电桩状态进行拥塞发生后的实验,并在系统保护装置未反应的时间内找到高效充电功率组合,验证了该机制的可行性.

关键词:电动汽车; 银行家算法; 拥塞控制机制; 充电时间

中图分类号:U469.72

文献标志码:A

文章编号:1006-4729(2016)01-0088-05

Electric Vehicle Charging Congestion Control Mechanism Based on Banker's Algorithm

ZHANG Jinwei, LI Jing

(School of Computer Science and Technology, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: This electric vehicle charging congestion control mechanism learn results from ideas of “closed-loop feedback congestion control” and “banker's algorithm” used in computer network. In the charging process, if there is congestion, the system will send feedback to the controller. According to the system state and the principles of “banker's algorithm”, the combination of charge pile is found, which makes the transformer load within its rating and overall time of full charge the shortest. Then, the power of each charging pile is resigned by the combination, and new status information is sent to the controller from a closed-loop feedback control. Finally, the experiments are carried out when a group of random states of charging piles are congested. Moreover, the algorithm quickly finds out the best combination of charging power before protection devices verify the feasibility of the mechanism.

Key words: electric vehicle; banker's algorithm; congestion control mechanism; charging time

能源和环境问题是当今世界所面临的两大难题,电动汽车这种清洁环保的交通工具越来越受

到人们的关注.但与传统燃油汽车相比,电动汽车充电时间长、效率低,阻碍了电动汽车的推广.

收稿日期:2015-05-28

通讯作者简介:张津玮(1990-),男,在读硕士,贵州贵阳人.主要研究方向为电动汽车充电拥塞控制. E-mail: 605302227@qq.com.

目前电动汽车的充电方式有电池更换、慢速充电和快速充电。其中,电池更换成本高,慢速充电耗时长,快速充电效率高、时间短。然而电动汽车快速充电时功耗极大,对电网带来巨大冲击。以比亚迪 E6 纯电动汽车为例,快速充电时功率可高达 192 kW,15 min 充满 80%^[1],是普通空调功率的近百倍,很容易造成变压器或线路的拥塞。所以,目前充电桩的建设只能以“慢充为主、快充为辅”,大大降低了电动汽车的使用效率,限制了电动汽车的进一步发展。

1 问题分析

为了在保证配电网安全运行的同时,又能提高电动汽车的充电速率,需要设计电动汽车充电拥塞控制的相关机制,使配电网能分配尽量多的电能给充电桩使用,并且使变压器的负载维持在额定范围内。

由于一台变压器一般会同时对数个充电桩进行供电,而配电系统的各部分都不能超过额定值工作,所以控制系统只需控制充电桩到与其相连接的变压器之间不出现拥塞,就可实现对电动汽车充电拥塞的控制。

这样系统的设计就需要解决 2 个问题:如何对充电桩总的功率在整体宏观上的有效调控;如何在细节上合理地分配变压器剩余的可用电能资源到各个充电桩。所以,在控制机制上分为“闭环反馈拥塞控制”和“基于银行家算法的充电速率分配”两部分,对应从整体到细分的调控。

首先,为后续系统设计的便利,需假设 3 个必要的条件:

(1) 从变压器到充电桩之间的线路是专门配制的,可满足快速充电大电流的需求;

(2) 各个充电桩以及变压器也装配了可实时监控和快速反映的测量设备;

(3) 控制系统可调控各个充电桩的充电速率。

然后,关于控制和测量对象的选择,分析文献《大功率电动汽车充电机设计》中充电机的设计,将功率作为系统的主要测量和控制对象较为合适。设连接变压器的充电桩数量为 x ,当前各个充电桩的充电功率为 p_{k1} ($k=1,2,3,\dots,x$),记总的功率为 y_n :

$$y_n = \sum_{k=1}^{n=x} p_{k1} \quad (1)$$

因为一般变压器的设计制造中会留有 1/5 左右的功率余量,所以设定拥塞的阈值为变压器的额定功率是比较安全的。即充电桩总的功率加其他居民正常用电功率的总量,不得超过变压器的额定功率,否则判定为拥塞。

设变压器额定功率为 R ,其他居民正常用电功率为 C ,变压器剩余可用功率余量为 r_n 。测量变压器每条供电线路的数据就可得到除充电桩外的当前其他居民正常用电功率 C ,且:

$$r_n = R - C \quad (2)$$

2 基于银行家算法的控制策略

要将变压器有限的可用电能分配给各个充电桩,这类似于银行贷款发放的问题。银行希望将有限的资金发给尽量多的客户,追求放贷利润的最大化;而电动汽车充电拥塞控制系统希望将有限的电能资源尽量多地分配给用户,追求最短的充电时间。

“银行家算法”允许计算进程中动态地申请资源,然后试探性地计算该申请资源是否安全,若不会导致系统进入不安全状态,则分配;否则等待^[2]。图 1 为基于“银行家算法”设计的电动汽车用户进行充电前的控制策略。用户在充电之前必须经过“用户充电请求系统”的处理,先根据自己的需要,向系统请求相应速率的充电服务 p_{q1} 。系统将查询变压器当前的可用功率余量 r_n ,当 r_n 能满足此次请求,则允许;当不能满足时,计算 r_n 减去当前其他充电桩功率后所得的值 p_{q2} ,然后依据 p_{q2} 选择系统可接受的充电速率,并询问用户是否接受,不接受则退出。当电动汽车正式开始充电后,将随之记录充电状况的变化,并计算充满电池所需总的时长、剩余充满电池时间和实时的费用。这避免了电动汽车大功率快速充电突然接入时,对配电网造成的冲击。

此外,为保证供电系统的安全运行,对系统做出以下规定:

(1) 当一个用户对电能的最大需求量不超过变压器当前的可用余量时,可接纳该用户充电;

(2) 电动汽车可以分期充电,但充电速率不能超过其最大需求量;

(3) 当变压器的可用电能余量不能满足用户当前的充电速率时,对用户的电动汽车可推迟充电或降低速率充电,但总能使用户在有限的时间

里充满电；

(4) 当用户得到最大需求量的全部电能后, 要在规定的时间完成充电。

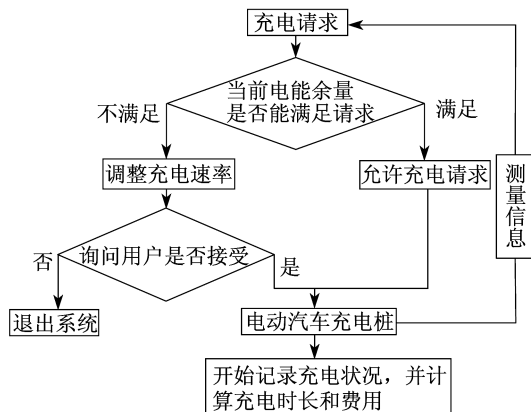


图1 用户充电请求系统

3 闭环反馈拥塞控制

从某种角度看, 配电网也是一种网络, 跟计算机网络在整体宏观上有相似性^[3]. 为解决系统整体功率的有效调控, 设计系统基于计算机网络技术中的“闭环反馈拥塞控制”, 以充电桩为“端”, 为充电桩供电的变压器为“中心”, 变压器承载的其他居民正常用电为“影响”^[4], 建立“闭环反馈电动汽车充电拥塞控制机制”, 从而达到控制充电拥塞的目的。

计算机闭环反馈拥塞控制中有3个关键机制, 即检索机制, 反馈机制和调整机制^[5]. 在电动汽车充电拥塞控制系统中也建立类似的3种关键机制。

(1) 检索机制 对变压器和充电桩进行实时监测, 若变压器负载功率大于或等于额定值, 则判定发生拥塞。

(2) 反馈机制 当拥塞时, 由变压器的测量装置向控制器反馈拥塞警告及当前变压器和充电桩的状态信息, 通告系统已发生拥塞. 并且控制器将计算变压器额定功率减去其他居民正常用电功率后剩余的可用功率余量。

(3) 调整机制 当系统接收到拥塞信号后, 根据当前变压器剩余的可用功率余量和电动汽车的充电状态, 对各个充电桩的充电速率(即功率大小)进行调整, 使所有充电桩总的功率小于变压器可用功率余量, 且使所有充电桩所需总的充满电池的时间最短。

闭环拥塞反馈控制系统如图2所示. r_n 作为输入目标量, 与当前 y_n 做比较, 若

$$r_n - y_n = e_n \leq 0 \quad (3)$$

则表示拥塞发生, 系统调整各个充电桩的功率, 使总的功率下降到 y_{n+1} , 且

$$0 \leq y_{n+1} < r_n \quad (4)$$

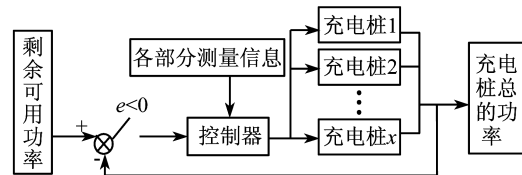


图2 充电拥塞闭环反馈控制

该系统实时接收来自变压器和充电桩所反馈的信息, 并比较变压器可用功率余量与充电桩总的功率大小. 当 C 增大, 使 r_n 减少到会导致拥塞的水平时, 先暂时断开对充电桩的供电, 并计算出能使电动汽车总体所需充满电池时间最短, 且总的功率小于 r_n 的高效充电速率组合; 最后, 依据该组合对各个充电桩进行新的功率分配, 重启充电。

而以上控制的关键在于如何计算满足条件的高效充电速率组合, 这是除从整体上闭环反馈控制拥塞外, 需从细节电能分配上进一步解决的问题. 要解决这一问题, 需知晓电动汽车在大小不同的充电功率条件下与相应充满电池所需时间之间的函数关系, 以此为基础按照银行家算法的思路, 试探性计算各个充电组合中是否有满足条件的最佳解(即高效充电速率组合)。

4 高效充电速率组合的计算

4.1 充电时间函数

为得到充电功率与充满时间之间的函数关系, 需先测试电动汽车在大小不同的充电功率条件下对应的充满电池时间, 并记录相关数据. 表1是以比亚迪 E6 为参考电动汽车, 得到的部分充电信息(具体测试环境和参数不详). 由表1可以看出, 随着充电功率的增大, 充满时间也随之非线性地减少。

以较为接近的函数关系 $t = a \times 2^{\frac{b}{P}} + c$ 为模型, 依照表1中的数据在 Matlab 中进行拟合, 得出充电功率 P (单位为 kW) 与充满时间 t (单位为 h) 的近似关系如图3中所示, 为:

$$t \approx 14.43 \times 2^{\frac{4.019}{P}} - 13.28 \quad (5)$$

表1 比亚迪 E6 深度测试充电信息

充电类型	电流类型	电压/V
大功率充电站	直流电	320
C10 充电柜	直流电	320
公用充电站	交流电	220
普通民用电	交流电	220

电流/A	使用接口	充满时间/h
100	直流充电接口	2.0
30	直流充电接口	6.7
15	交流充电接口	20.0
10	交流充电接口	38.0

注:数据来自太平洋汽车网.

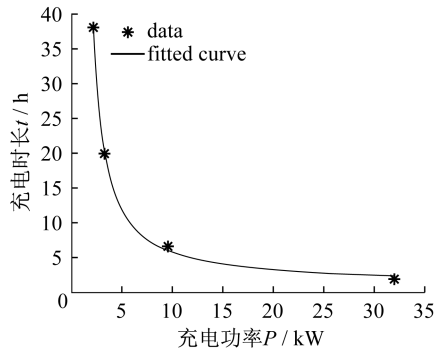


图3 充电时间函数拟合

4.2 充电桩当前状态

为更清晰地验证高效充电速率组合的计算选择过程,假设一台 400 kW 配电变压器供 100 户使用,并建有可调速充电桩 4 个,记为 x_1, x_2, x_3, x_4 ,各自对应的当前充电功率为 p_{k1} ($k=1, 2, 3, 4$),剩余充满电池所需的时间为 t_{k1} ($k=1, 2, 3, 4$).利用 Matlab 产生 4 个充电桩的当前随机状态,如图 4 所示.

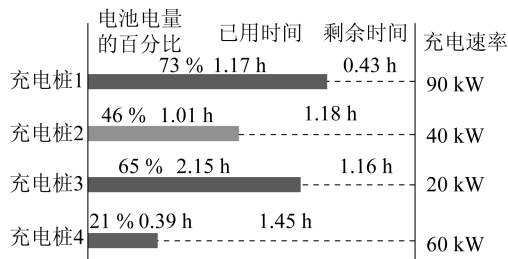


图4 4个充电桩的当前状态

若此时,变压器的可用功率余量 r_n 下降到

113 kW,且小于 4 个充电桩总的充电功率,导致拥塞发生;则需调整总的充电功率到小于 r_n 的水平,记 4 个充电桩调控后的功率为 p_{k2} ($k=1, 2, 3, 4$),得到约束条件为:

$$r_n > \sum_{k=1}^{n=4} p_{k2} \quad (6)$$

设各个充电桩调控后的剩余充满电池的时间为 t_{k2} ($k=1, 2, 3, 4$),所有充电桩剩余充满电池的时间总和为 t_a , t_a 的最小值为 t_{\min} .在 p_{k2} 的充电功率下,虽然充电功率大小和充满电池剩余所需时间都发生了变化,但电池还需继续充入的电能一样,则:

$$\frac{t_a(p_{k2})}{t_a(p_{k1})} \approx \frac{t_{k2}}{t_{k1}} \quad (7)$$

得到方程:

$$t_a \approx \sum_{k=1}^{n=4} \left(t_{k1} \times \frac{14.43 \times 2^{\frac{4.019}{p_{k2}}} - 13.28}{14.43 \times 2^{\frac{4.019}{p_{k1}}} - 13.28} \right) \quad (8)$$

$$t_{\min} \approx \min \left\{ \sum_{k=1}^{n=4} \left(t_{k1} \times \frac{14.43 \times 2^{\frac{4.019}{p_{k2}}} - 13.28}{14.43 \times 2^{\frac{4.019}{p_{k1}}} - 13.28} \right) \right\} \quad (9)$$

4.3 按步长选取充电速率档位

目前,国内设计的充电桩有交流充电桩和直流充电桩两种,充电功率最大的为 120 kW.如北京凯源新能科技有限公司生产的交流充电桩额定电压为 220 V/380 V,额定电流为 16 A/32 A,直流充电桩输出功率为 20 kW/40 kW/60 kW/90 kW/120 kW.

为寻找高效充电速率组合,可在 0 ~ 120 kW 之间按照一定功率大小为步长,将充电速率分为 N 档,如以 1 kW 为步长,则可将 0 ~ 120 kW 的充电速率分为 0 kW, 1 kW, 2 kW, ..., 120 kW, 总共 121 个档位.然后,根据这 N 个充电速率档,建立关于 $p_{12}, p_{22}, p_{32}, p_{42}$ 的 $N \times N \times N \times N$ 四维解空间,将所有满足 $r_k > \sum_{i=1}^{n=4} p_{k2}$ 的功率组合,用穷举法代入式(8)中,算出所有组合对应总的剩余充电时长 t_a ,找到 t_{\min} 和对应 $p_{12}, p_{22}, p_{32}, p_{42}$ 的 4 个解,而这 4 个解就是系统所需的高效充电速率组合.

4.4 不同步长取档下的计算耗时

在配电网中,继电保护系统一般快速保护的动作为 0.04 ~ 0.08 s,最快的可达 0.01 ~

0.04 s. 因此,系统应在 0.01 s 的时间内完成计算. 而选取充电速率的档位数量如果过多,会大大增加解空间和计算的耗时,选择合理的取档步长,是提高计算效率的关键.

对充电速率的档位进行不同步长的取值,建立对应的 $N \times N \times N \times N$ 四维解空间,根据图 4 中信息在 $p_{12} + p_{22} + p_{32} + p_{42} < 113$ kW 的约束条件下,通过式(8)计算相应的 t_{\min} ,并记录完成整个计算所耗的时长,得到相关结果如表 2 所示. 由表 2 可知,不同步长下,电动汽车总的剩余充满电池时间 t_a 都维持在 5.1 h 左右,而步长大于 8 kW 时,计算耗时小于 0.01 s,满足在继电保护系统未动作前完成计算的要求.

表 2 不同步长取档的计算耗时实验

步长/ kW	N	计算耗时/ s	p_{12}	p_{22}	p_{32}	p_{42}	t_a / h
1	121	28.376	22	30	24	36	5.058
2	61	1.219	22	30	24	36	5.058
5	25	0.026	20	30	25	35	5.115
8	16	0.005	24	32	24	32	5.082
10	13	0.002	20	30	20	40	5.153

注:所用台式电能硬件参数:处理器为 Intel Xeon, E3-1230 v3;
RAM 为 8 GB, 1 600 MHz; 操作系统为 Windows 7 64 位.

为了更符合实际中充电桩充电速率档位的设计和更快地完成计算,将充电功率按照常用充电桩的规格分为 9 个档位:0 kW, 4 kW, 7 kW, 10 kW, 20 kW, 40 kW, 60 kW, 90 kW, 120 kW. 按照 9 个档位计算得到高效充电速率组合为: $p_{12} = 20$ kW, $p_{22} = 20$ kW, $p_{32} = 20$ kW, $p_{42} = 40$ kW, t_{\min} 约为 5.558 h, 整个计算过程耗时小于 0.002 s, 符合需要满足的要求.

5 结 语

电动汽车充电拥塞控制的方法只针对变压器到充电桩之间的拥塞控制,着重于可用电能资源的合理分配,不需要改造或调控配电网其他环节. 具体步骤分为以下 6 步:控制器实时接收来自变压器和充电桩的状态信息,比较充电桩总的功率是否小于变压器的剩余可用功率余量,以此判断是否发生拥塞;用户给电动汽车充电前,需经过“用户充电请求系统”的处理;充电过程中,居民正常用电量增大致使拥塞发生时,先暂停充电;利用充电功率大小与充满电池所需时间的函数关系,将所有可能的充电速率组合带入式(8)进行计算,找出能使电动汽车总的充满时间最短的高效充电速率组合;将各个充电桩的充电速率按照高效充电速率组合重新分配;反馈调控后的变压器和充电桩状态信息到控制器.

参考文献:

- [1] 何占伟,刘捷,王志本. 大功率电动汽车充电机的设计[J]. 今日电子,2010(9):58-60.
- [2] 侯刚. 深入解析银行家算法[J]. 潍坊学院学报,2006,6(2):46-48.
- [3] ARDAKANIAN O, ROSENBERG C, KESHAV S. Distributed control of electric vehicle charging[C]//Proceedings of the Fourth International Conference on Future Energy Systems. ACM,2013:101-112.
- [4] 章森,吴建平,林闯. 互联网端到端拥塞控制研究综述[J]. 软件学报,2002,13(3):354-363.
- [5] 张莉. 网络拥塞控制技术的研究[D]. 天津:天津工业大学,2007.

(编辑 白林雪)