



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106058994 A

(43)申请公布日 2016. 10. 26

(21)申请号 201610536861.0

(22)申请日 2016.07.08

(71)申请人 李明轩

地址 215600 江苏省苏州市张家港市华昌路沙洲湖科创园C2(李明轩)

(72)发明人 李明轩

(74)专利代理机构 苏州创元专利商标事务有限公司 32103

代理人 孙仿卫 徐伟华

(51) Int. Cl.

H02J 7/00(2006.01)

B60L 11/18(2006.01)

H01M 10/44(2006.01)

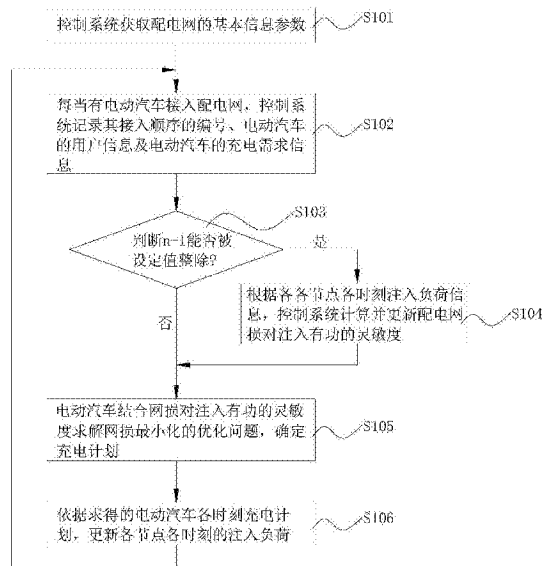
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种降低配电网网损的电动汽车有序充电控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种降低配电网网损的电动汽车有序充电控制方法,包括:控制系统获取配电网的基本信息参数;当电动汽车接入,记录其接入顺序编号n、电动汽车的用户信息及电动汽车的充电需求信息;当编号n-1可被设定值整除,按照当前的各节点各时刻注入负荷计算并更新配电网对注入有功的灵敏度;当编号n-1不能被设定值整除,结合电动汽车接入节点的网损对注入有功的灵敏度,求解一个以最小化网损为目标的线性规划模型,最优解即为电动汽车的充电计划;根据该充电计划更新各节点各时刻的注入负荷,继续等待下一辆电动汽车接入。该控制方法通过调控各电动汽车充电计划,实现配电网网损的降低,提升配电网运行经济性的同时兼顾了用户的使用需求、可快速求解。



1. 一种降低配电网网损的电动汽车有序充电控制方法,其特征在于,包括如下步骤:

1) 控制系统获取配电网的基本信息参数;

2) 每当有电动汽车接入配电网,控制系统记录其接入顺序的编号n、电动汽车的用户信息及电动汽车的充电需求信息;

3) 判断接入配电网的电动汽车的编号n-1能否被设定值整除,所述的设定值表征配电网网损对注入有效功率的灵敏度的更新频率;如果是,进入步骤4); 如果不是,进入步骤5);

4) 每当编号n-1能够被设定值整除时,即电动汽车到达数达到阈值,按照当前的各节点各时刻注入负荷,控制系统计算并更新配电网网损对注入有功的灵敏度;

5) 当编号n-1不能够被设定值整除时,控制系统结合电动汽车接入节点的配电网网损对注入有功的灵敏度,求解一个最小化网损为目标的线性规划模型,最优解即为电动汽车的充电计划;

6) 根据步骤5)得到的充电计划更新各节点各时刻的注入电荷,返回步骤2)操作,等待下一辆电动汽车接入。

2. 根据权利要求1所述的电动汽车有序充电控制方法,其特征在于,步骤1)中所述的配电网的基本信息参数包括线路导纳矩阵 $Y=G+jB$ 、控制时间间隔 Δt 与各节点全天的预测常规负荷 $P_{k,t}^0 + jQ_{k,t}^0$, k为节点编号, t为预测时刻。

3. 根据权利要求2所述的电动汽车有序充电控制方法,其特征在于,步骤2)中所述的电动汽车的用户信息包括接入节点 k_n 、充电效率 η_k 、电池容量 C_n 、额定充电功率 P_n 。

4. 根据权利要求3所述的电动汽车有序充电控制方法,其特征在于,步骤2)中所述的电动汽车的充电需求信息包括当前时刻 T_n 、当前电池荷电状态(SOC, state of charge) φ_n 、用户设定的期望充电终止时间 T_n^e 与期望最终电池荷电状态 φ_n^e 。

5. 根据权利要求4所述的电动汽车有序充电控制方法,其特征在于,步骤4)中,控制系统计算各节点各时刻配电网网损对注入有功的灵敏度 $\lambda_{k,t}$ 的具体方法如下:

因配电网网损等于各节点注入有功功率之和,如式一:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^K P_i = \sum_{i=1}^K V_i \sum_{j \in i} V_j G_{ij} \cos \theta_{ij} ;$$

式一中, K为配电网节点总数;

对式一求导,可得式二:

$$V_i \frac{\partial P_{loss}}{\partial V_i} = 2V_i \sum_{j=1}^K V_j G_{ij} \cos \theta_{ij} ;$$

及式三:

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial \theta_i} = -2V_i \sum_{j=1}^K V_j G_{ij} \sin \theta_{ij} ;$$

又因为式四:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial P} \\ \frac{\partial P_{loss}}{\partial Q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \theta} & \frac{\partial Q}{\partial \theta} \\ V \frac{\partial P}{\partial V} & V \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \theta} \\ V \frac{\partial P_{loss}}{\partial V} \end{bmatrix} = J^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \theta} \\ V \frac{\partial P_{loss}}{\partial V} \end{bmatrix};$$

式四中J为潮流计算中的雅可比矩阵；

所以网损对注入有功的灵敏度λ满足式五：

$$\lambda = \frac{\partial P_{loss}}{\partial P} = S_a \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \theta} \\ V \frac{\partial P_{loss}}{\partial V} \end{bmatrix}$$

式五中，S_a为J的逆矩阵的子矩阵，将式二、三代入式五，并代入配电网线路导纳矩阵G+jB、以及各节点各时刻的注入负荷 $P_{k,t}^n + jQ_{k,t}^n$ ，即可求得各节点各时刻的网损对注入有功的灵敏度λ_{k,t}。

6. 根据权利要求4所述的电动汽车有序充电控制方法，其特征在于，步骤5)中，所建立的线性规划模型为：

$$\min \sum_{t=T_n}^{T_n'} \lambda_{n,t} p_{n,t}$$

约束条件：

$$P_n \geq p_{n,t} \geq 0 \quad \forall t \in [T_n, T_n'];$$

由此，所得到的编号n的电动汽车的充电计划为：

$$\eta_n \sum_{t=T_n}^{T_n'} p_{n,t} \Delta t = C_n (\varphi_n' - \varphi_n)$$

一种降低配电网网损的电动汽车有序充电控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电动汽车与电网互动技术领域,特别涉及一种降低配电网网损的电动汽车有序充电控制方法。

背景技术

[0002] 网损率作为一项反映电网规划建设、生产运行、装备及经营管理水平的综合性技术经济指标,直接反映了电能的利用效率,同时影响着电网企业的经营效益,欧美、日韩、新加坡等国际先进电网企业代表均非常重视电网降损。配电网作为与用户联系最密切的电能输送环节,其具有电压等级低、覆盖面大、设备繁多复杂等特点,据统计,110kV以下配电网网损约占总网损的60%,降低配电网网损对电网企业具有重要意义。

[0003] 电动汽车作为传统燃油汽车的替代方案之一,在解决当前我国面临的能源危机、环境污染等问题方面具有显著优势,受到国家的大力推广,未来电网企业面临电动汽车大规模接入的新形势。研究表明,一天中90%以上时间汽车处于停驶状态,这为电动汽车参与电网互动调控创造了条件。然而当前各电动汽车的充电区域尚未对电动汽车的充电进行合理的控制,可能存在有时无电动汽车充电、有时大量电动汽车同时充电的情况,而随着大量电动汽车随机接入电网同时充电,将造成电网的负荷增加,造成复合曲线波动,负荷曲线的峰谷差率增大的问题,为了解决上述问题,目前通过调控电动汽车充电的时段与功率,引导电动汽车有序充电,可以降低配电网网络损耗,提升电网运行的经济性。如申请号为2014108506702(电动汽车充电控制方法和装置),而采用该充电控制方法中,通过收集电动汽车充电需求信息、电网实时运行信息和用户电动启辰信息,进行计算生成一电动汽车充电优先级列表,该方法求解时间长;同样,目前大多数的控制方法在以降低配电网网损为目标的电动汽车有序充电优化问题中,往往需包含潮流方程的约束,导致该优化问题成为一个非线性非凸的优化问题,运用现有数学工具难以高效率快速求解,往往需借助遗传算法、粒子群算法等智能算法进行求解,其求解时间长,不适用于降低配电网网损的电动汽车有序充电实时控制。

发明内容

[0004] 本发明的目的是解决现有技术的不足,提供一种降低配电网网损的电动汽车有序充电控制方法。

[0005] 为达到上述目的,本发明采用的技术方案是:一种降低配电网网损的电动汽车有序充电控制方法,包括如下步骤:

[0006] 1)控制系统获取配电网的基本信息参数;

[0007] 2)每当有电动汽车接入配电网,控制系统记录其接入顺序的编号n、电动汽车的用户信息及电动汽车的充电需求信息;

[0008] 3)判断接入配电网的电动汽车的编号n-1能否被设定值整除,所述的设定值表征配电网网损对注入有效功率的灵敏度的更新频率;如果是,进入步骤4);如果不是,进入步骤5);

[0009] 4)每当编号n-1能够被设定值整除时,即电动汽车到达数达到阈值,按照按照当前的各节点各时刻注入负荷,控制系统计算并更新配电网损对注入有功的灵敏度;

[0010] 5)当编号n-1不能够被设定值整除时,控制系统结合电动汽车接入节点的配电网损对注入有功的灵敏度,求解一个最小化网损为目标的线性规划模型,最优解即为电动汽车的充电计划;

[0011] 6)根据步骤5)得到的充电计划更新各节点各时刻的注入电荷,返回步骤2)操作,等待下一辆电动汽车接入。

[0012] 具体的,步骤1)中所述的配电网的基本信息参数包括线路导纳矩阵 $Y=G+jB$ 、控制时间间隔 Δt 与各节点全天的预测常规负荷 $P_{k,t}^0 + jQ_{k,t}^0$,k为节点编号,t为预测时刻。

[0013] 具体的,步骤2)中所述的电动汽车的用户信息包括接入节点 k_n 、充电效率 η_k 、电池容量 C_n 、额定充电功率 P_n 。

[0014] 具体的,步骤2)中所述的电动汽车的充电需求信息包括当前时刻 T_n 、当前电池荷电状态(SOC,state of charge) φ_n 、用户设定的期望充电终止时间 T_n^e 与期望最终电池荷电状态 φ_n^e 。

[0015] 具体的,步骤4)中,控制系统计算各节点各时刻配电网损对注入有功的灵敏度 $\lambda_{k,t}$ 的具体方法如下:

[0016] 因配电网网损等于各节点注入有功功率之和,如式一:

$$[0017] \quad P_{loss} = \sum_{i=1}^K P_i = \sum_{i=1}^K V_i \sum_{j \in i} V_j G_{ij} \cos \theta_{ij};$$

[0018] 式一中,K为配电网节点总数;

[0019] 对式一求导,可得式二:

$$[0020] \quad V_i \frac{\partial P_{loss}}{\partial V_i} = 2V_i \sum_{j=1}^K V_j G_{ij} \cos \theta_{ij};$$

[0021] 及式三:

$$[0022] \quad \frac{\partial P_{loss}}{\partial \theta_i} = -2V_i \sum_{j=1}^K V_j G_{ij} \sin \theta_{ij};$$

[0023] 又因为式四:

$$[0024] \quad \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \mathbf{P}} \\ \frac{\partial P_{loss}}{\partial \mathbf{Q}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial \boldsymbol{\theta}} & \frac{\partial \mathbf{Q}}{\partial \boldsymbol{\theta}} \\ \mathbf{V} \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial \mathbf{V}} & \mathbf{V} \frac{\partial \mathbf{Q}}{\partial \mathbf{V}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \boldsymbol{\theta}} \\ \mathbf{V} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \mathbf{V}} \end{bmatrix} = \mathbf{J}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \boldsymbol{\theta}} \\ \mathbf{V} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \mathbf{V}} \end{bmatrix};$$

[0025] 式四中J为潮流计算中的雅可比矩阵;

[0026] 所以网损对注入有功的灵敏度 λ 满足式五:

$$[0027] \quad \lambda = \frac{\partial P_{loss}}{\partial \mathbf{P}} = \mathbf{S}_a \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \boldsymbol{\theta}} \\ \mathbf{V} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \mathbf{V}} \end{bmatrix}$$

[0028] 式五中, S_a 为J的逆矩阵的子矩阵,将式二、三代入式五,并代入配电网线路导纳矩阵 $G+jB$ 、以及各节点各时刻的注入负荷 $P_{k,t}^n + jQ_{k,t}^n$,即可求得各节点各时刻的网损对注入有功的灵敏度 $\lambda_{k,t}$ 。

[0029] 具体的,步骤5)中,所建立的线性规划模型为:

$$[0030] \quad \min \sum_{k=1}^N \lambda_{k,t} P_{k,t} ;$$

[0031] 约束条件:

$$[0032] \quad P_n \geq p_{n,t} \geq 0 \quad \forall t \in [T_1, T_n] ;$$

[0033] 由此,所得到的编号n的电动汽车的充电计划为:

$$[0034] \quad \eta_n \sum_{t=T_1}^{T_n} p_{n,t} \Delta t = C_n (\varphi_n^e - \varphi_n)$$

[0035] 由于上述技术方案的运用,本发明与现有技术相比具有下列优点:

[0036] 1、本发明的降低配电网网损的电动汽车有序充电控制方法,通过调控各电动汽车充电计划,实现配电网网损的降低,提升配电网运行的经济性;

[0037] 2、本发明的控制方法,充分考虑了电动汽车用户的功率、能量、以及充电时段等约束,在提升配电网运行经济性的同时兼顾了用户的使用需求;

[0038] 3、本发明的控制方法,可快速求解各电动汽车的充电计划,通过计算各时刻各节点网损对注入功率的灵敏度并对灵敏度定期更新,建立以最小化网损为目标的线性规划问题,可快速求解,避免了直接求解耗时长、难求解的含潮流方程约束的非线性非凸优化问题,适用于对降低配电网网损的电动汽车有序充电实时控制。

附图说明

[0039] 附图1为本发明所述的降低配电网网损的电动汽车有序充电控制方法的流程图。

具体实施方式

[0040] 下面结合附图及具体实施例来对本发明的技术方案作进一步的阐述。

[0041] 一种降低配电网网损的电动汽车有序充电控制方法,其流程图如图1所示,包括以下步骤:

[0042] 步骤101、通过电动汽车有序充电的控制系统获取配电网的基本信息参数,包括线路导纳矩阵 $Y=G+jB$ 、控制时间间隔 Δt 与各节点全天的预测常规负荷 $P_{k,t}^0 + jQ_{k,t}^0$, k 为节点编号, t 为预测时刻;

[0043] 步骤102、每当电动汽车接入等待充电,控制系统记录该电动汽车接入顺序的编号 n 、接入节点 k_n 、充电效率 η_k 、电池容量 C_n 、额定充电功率 P_n 、当前时刻 T_n 、当前电池荷电状态 (SOC, state of charge) φ_n 、用户设定的期望充电终止时间 T_n^e 与期望最终电池荷电状态 φ_n^e ;

[0044] 步骤103、判断编号 $n-1$ 是否被设定自然数 W 整除, W 表征配电网网损对注入有功的灵

灵敏度的更新频率;如果是,进入步骤104,更新配电网损对注入有功的灵敏度;如果否,转向步骤105;

[0045] 步骤104、每当编号n-1能够被设定值整除时,即电动汽车到达数达到阈值,控制系统计算各节点各时刻配电网损对注入有功的灵敏度 $\lambda_{k,t}$,计算方法如下所示:

[0046] 因配电网网损等于各节点注入有功功率之和,如式一:

$$[0047] \quad P_{loss} = \sum_{i=1}^K P_i = \sum_{i=1}^K V_i \sum_{j \in i} V_j G_{ij} \cos \theta_{ij} ;$$

[0048] 式一中,K为配电网节点总数;

[0049] 对式一求导,可得式二:

$$[0050] \quad V_i \frac{\partial P_{loss}}{\partial V_i} = 2V_i \sum_{j=1}^K V_j G_{ij} \cos \theta_{ij} ;$$

[0051] 及式三:

$$[0052] \quad \frac{\partial P_{loss}}{\partial \theta_i} = -2V_i \sum_{j=1}^K V_j G_{ij} \sin \theta_{ij} ;$$

[0053] 又因为式四:

$$[0054] \quad \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial P} \\ \frac{\partial P_{loss}}{\partial Q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \theta} & \frac{\partial Q}{\partial \theta} \\ V \frac{\partial P}{\partial V} & V \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \theta} \\ V \frac{\partial P_{loss}}{\partial V} \end{bmatrix} = J^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \theta} \\ V \frac{\partial P_{loss}}{\partial V} \end{bmatrix} ;$$

[0055] 式四中,J为潮流计算中的雅可比矩阵;所以网损对注入有功的灵敏度 λ 满足式五:

$$[0056] \quad \lambda = \frac{\partial P_{loss}}{\partial P} = S_a \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{loss}}{\partial \theta} \\ V \frac{\partial P_{loss}}{\partial V} \end{bmatrix}$$

[0057] 式五中, S_a 为J的逆矩阵的子矩阵,将式二、三代入式五,并代入配电网线路导纳矩阵 $G+jB$ 、以及各节点各时刻的注入负荷 $P_{k,t}^n + jQ_{k,t}^n$,即可求得各节点各时刻的网损对注入有功的灵敏度 $\lambda_{k,t}$;

[0058] 步骤105、每当编号n-1不能够被设定值整除时,结合电动汽车接入节点的配电网损对注入有功的灵敏度,求解一个最小化网损为目标的线性规划模型,最优解即为电动汽车的充电计划;其原则是尽量在网损对节点 k_n 注入有功的灵敏度小的时刻进行充电;所建立的线性规划模型为:

$$[0059] \quad \min \sum_{n=1}^{N_n} \lambda_{k_n,t} P_{n,t} ;$$

[0060] 约束条件:

$$[0061] \quad P_n \geq P_{n,t} \geq 0 \quad \forall t \in [T_n^s, T_n^e] ;$$

[0062] 由此,所得到的编号n的电动汽车的充电计划为:

$$[0063] \quad \eta_n \sum_{t=t_n}^{T_n} p_{n,t} \Delta t = C_n (\varphi_n^* - \varphi_n)$$

[0064] 上述优化问题的最优解即为电动汽车n的充电计划；

[0065] 步骤106、依据求得的电动汽车各时刻充电计划 $p_{n,t}$ ，更新各节点各时刻的注入负荷 $P_{k,t} + jQ_{k,t}$ ， $P_{k,t}^n + jQ_{k,t}^n = (P_{k,t}^{n-1} + p_{n,t}) + jQ_{k,t}^{n-1}$ ，返回步骤102操作，等待下一辆电动汽车接入。

[0066] 本发明的电动汽车有序充电控制方法，在充分考虑了电动汽车用户的功率、能量、充电时段等约束的基础上，通过调控各电动汽车充电计划，实现配电网网损的降低，提升配电网运行经济性的同时兼顾了用户的使用需求。通过计算并定期更新网损对注入功率的灵敏度，建立以最小化网损为目标的线性规划问题，可快速求解，避免了直接求解耗时长、难求解的含潮流方程约束的非线性非凸优化问题，适用于降低配电网网损的电动汽车有序充电实时控制。

[0067] 上述实施例只为说明本发明的技术构思及特点，其目的在于让熟悉此项技术的人士能够了解本发明的内容并加以实施，并不能以此限制本发明的保护范围，凡根据本发明精神实质所作的等效变化或修饰，都应涵盖在本发明的保护范围内。

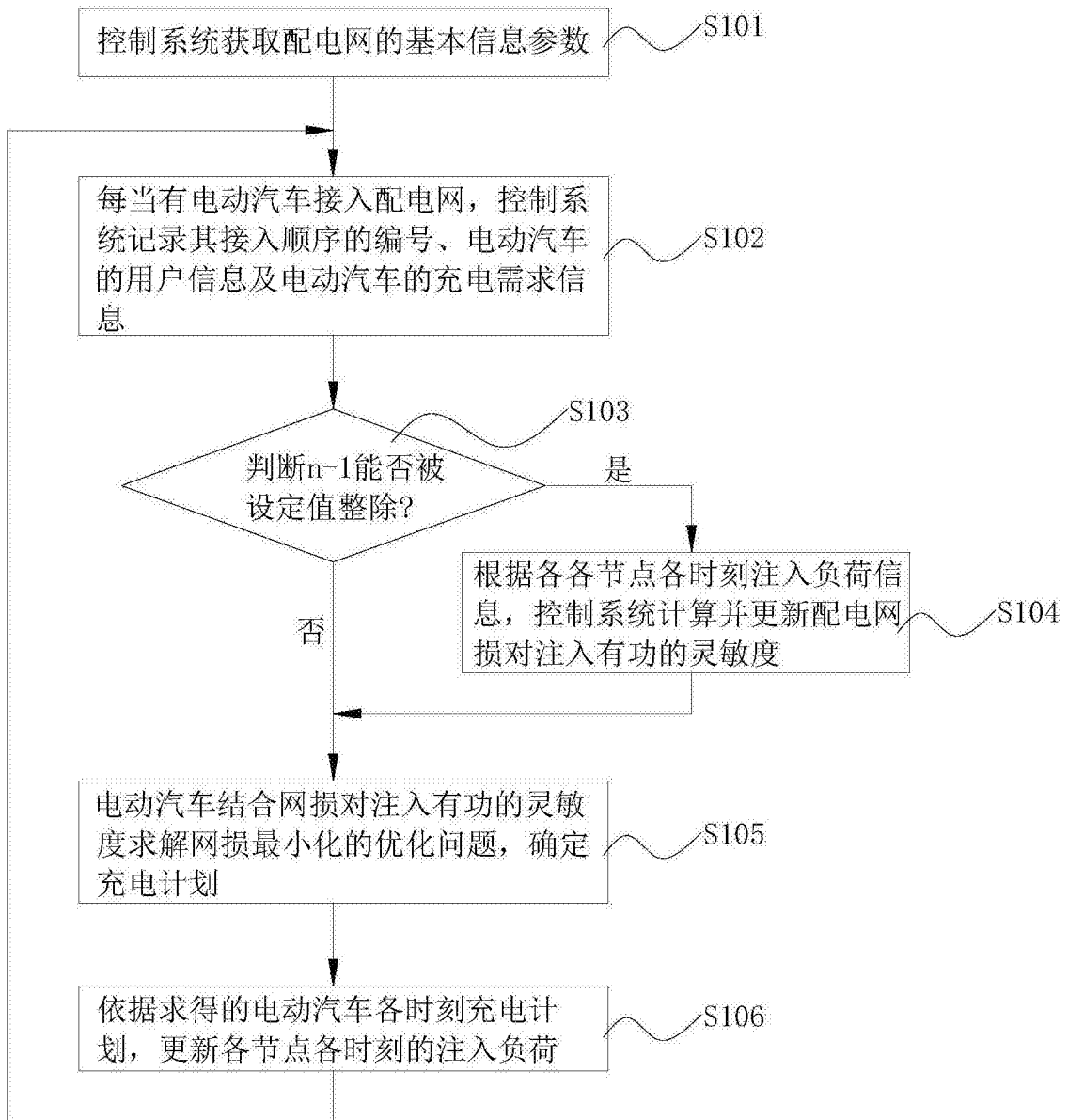


图1