



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106786624 B

(45)授权公告日 2019.04.30

(21)申请号 201611138258.3

(22)申请日 2016.12.12

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106786624 A

(43)申请公布日 2017.05.31

(73)专利权人 国网福建晋江市供电有限公司  
地址 362200 福建省泉州市晋江市梅岭街  
道世纪大道679号

(72)发明人 蔡锡铭 丁剑群 沈诗源 许文健  
陈永往 蔡安舒

(74)专利代理机构 厦门市首创君合专利事务所  
有限公司 35204  
代理人 傅家强

(51)Int.Cl.  
H02J 3/16(2006.01)

(56)对比文件

CN 104362639 A,2015.02.18,  
CN 104810840 A,2015.07.29,  
CN 104158199 A,2014.11.19,  
EP 2482417 A2,2012.08.01,

审查员 李峰

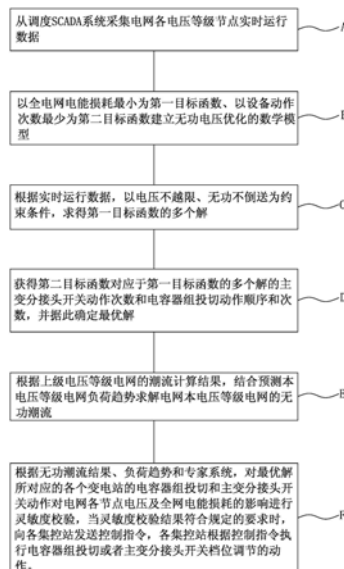
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种全网无功电压优化分层控制方法及系统

(57)摘要

本发明提供一种全网无功电压优化分层控制方法,求解主变分接头开关最佳档位、电容器最佳投入容量和电网最优运行电压,并根据无功潮流计算结果、预测本级负荷趋势和专家系统对各个变电站的电容器组投切及主变分接头开关动作对电网各节点电压及全网电能损耗的影响进行灵敏度校验,灵敏度校验结果符合规定的要求时向本级电压等级电网的各集控站发送控制指令,各集控站根据控制指令执行电容器组投切或者主变分接头开关档位调节的动作,本发明还提供一种全网无功电压优化分层控制系统,本发明实现分层控制,无需人工对电网的无功电压进行监控,节省人力成本,提高无功优化效率,控制精度高,避免造成主变分接头开关调节振荡和电容器组投切振荡。



1. 一种全网无功电压优化分层控制方法,其特征在于:包括以下步骤:

A、从调度SCADA系统采集电网各电压等级节点实时运行数据;

B、以全网电能损耗最小为第一目标函数、以设备动作次数最少为第二目标函数建立无功电压优化的数学模型,所述设备包括主变分接头开关和电容器组;

C、根据本级电压等级电网各节点的实时运行数据,以电压不越限、无功不倒送为约束条件,结合潮流计算、负荷预测、专家系统和数值分析对第一目标函数进行快速求解,获得第一目标函数的多个解,包括第一最优解和多个次优解;

D、根据第一目标函数的多个解,以主变分接头开关动作次数合格、电容器组投切顺序和次数合格为约束条件,对第二目标函数进行求解,获得多个分别对应于第一目标函数的多个解的主变分接头开关动作次数与电容器组投切动作顺序和次数,并将主变分接头开关及电容器组动作次数最小时对应的第一目标函数的解确定为最优解,最优解包括主变分接头开关最佳档位数、电容器最佳投入容量和电网最优运行电压;

E、根据上级潮流计算结果,结合预测本级负荷趋势求解本级电压等级电网的无功潮流,无功潮流计算用于保证电容器组投切或者主变分接头开关档位调整时,供电电源关口功率因数合格;

F、根据无功潮流计算结果、预测本级负荷趋势和专家系统,对最优解所对应的各个变电站的电容器组投切和主变分接头开关动作对电网各节点电压及全网电能损耗的影响进行灵敏度校验,当灵敏度校验结果符合规定的要求时,向各集控站发送控制指令,各集控站根据控制指令执行电容器组投切或者主变分接头开关档位调节的动作。

2. 根据权利要求1所述的一种全网无功电压优化分层控制方法,其特征在于:所述步骤F中的灵敏度校验包括:

调节主变分接头开关档位对本级支路电压影响最大,对下级支路电压影响较大,而对上级支路或同层支路影响不大;

无功补偿对补偿节点电压影响最大,对上级支路节点影响次之,对同层支路节点电压影响较小;

调节上级主变分接头开关档位对电能损耗影响最大,而调节同层主变分接头开关档位的影响大小取决于各支路负荷的大小和线路参数的影响;

调节最末端变电站的无功补偿对电能损耗影响最大,而同层节点无功补偿对电能损耗的影响主要取决于各自线路所带负荷的大小和线路参数,当线路所带负荷较重时,在该线路上补偿无功对线损的影响较大,反之亦然;

各节点无功补偿对全网各节点电压及电能损耗都有影响。

3. 根据权利要求1所述的一种全网无功电压优化分层控制方法,其特征在于:所述专家系统为把主变分接头开关档位调节、电容器投切及经验用式规则表示,式规则为表示具有因果关系的知识。

4. 根据权利要求1或2或3所述的一种全网无功电压优化分层控制方法,其特征在于:所

述第一目标函数为 $\Delta P = \min \sum_{i=1}^n f_1(U_i, K_i, Q_i)$ 、第二目标函数为

$N = \min \sum_{i=1}^n [f_3(K_i - K_T) + f_4(Q_i - Q_c)]$ ,其中, $U_i = f_2(K_1 \cdots K_i, Q_1 \cdots Q_i)$ , $U_i$ 为电网中第*i*个变电站

的母线电压, $K_i$ 为电网中第*i*个变电站主变分接头开关应处档位数, $Q_i$ 为电网中第*i*个变电站应投电容器容量, $K_T$ 为电网中第*i*个变电站主变当前分接开关档位数, $Q_c$ 为电网中第*i*个变电站所配电容器容量, $n$ 为电网中变电站的个数。

5. 一种全网无功电压优化分层控制系统,其特征在于:包括:

用于从调度SCADA系统采集电网各电压等级各节点实时运行数据的装置;

用于以全网电能损耗最小为第一目标函数、以设备动作次数最少为第二目标函数建立无功电压优化的数学模型,所述设备包括主变分接头开关和电容器组的装置;

用于根据本级电压等级电网各节点的实时运行数据,以电压不越限、无功不倒送为约束条件,结合潮流计算、负荷预测、专家系统和数值分析对第一目标函数进行快速求解,获得第一目标函数的多个解的装置,所述多个解包括第一最优解和多个次优解;

用于根据第一目标函数的多个解,以主变分接头开关动作次数合格、电容器组投切顺序和次数合格为约束条件,对第二目标函数进行求解,获得多个分别对应于第一目标函数的多个解的主变分接头开关动作次数与电容器组投切动作顺序和次数,并将主变分接头开关及电容器组动作次数最小时对应的第一目标函数的解确定为最优解的装置,所述最优解包括主变分接头开关最佳档位数、电容器最佳投入容量和电网最优运行电压;

用于根据上级潮流计算结果,结合预测本级负荷趋势求解本级电压等级电网的无功潮流的装置,潮流计算用于保证电容器组投切或者主变分接头开关档位调整时,供电电源关口功率因数合格;

用于根据无功潮流计算结果、预测本级负荷趋势和专家系统,对最优解所对应的各个变电站的电容器组投切和主变分接头开关动作对电网各节点电压及全网电能损耗的影响进行灵敏度校验,当灵敏度校验结果符合规定的要求时,向各集控站发送控制指令,各集控站根据控制指令执行电容器组投切或者主变分接头开关档位调节的装置的装置。

## 一种全网无功电压优化分层控制方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种全网无功电压优化分层控制方法及系统。

### 背景技术

[0002] 随着国民经济的高速发展和人民生活水平的提高,人们对电力的需求日益增长,同时对供电的可靠性和供电质量提出了更高的要求。电力系统无功分布是否合理,不仅关系到电力系统向用户提供电能质量的优劣,而且还直接影响电网自身运行的安全性和经济性。无功优化的目的正是为了改善无功分布不合理的情况,从而提高电压质量。

[0003] 现有的无功优化控制通常通过当值调度员根据电网运行状况,发出无功电压控制指令,实现电容器投切和主变分接头开关的调节,或者通过变电站安装的VQC装置根据本变电站无功电压运行状况,控制本变电站无功补偿设备和调压设备动作,这两种方法均存在一定的缺陷,调度员调整需要投入相当的人力,控制精度低,且控制水平受限于调度员的技术理论水平,VQC调整不能从全网考虑无功补偿设备的投切和主变分接头开关档位的调整,未动态预算无功补偿设备投入后母线电压值的变化,易造成投切振荡。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是针对现有技术的不足,提出一种全网无功电压优化分层控制方法及系统,从全网考虑电网中电容器组的投切和主变分接头开关档位的调整,并通过各集控站控制相应电容器组的投切和主变分接头开关档位的自动调整,节省人力,控制精度高。

[0005] 本发明通过以下技术方案实现:

[0006] 一种全网无功电压优化分层控制方法,包括以下步骤:

[0007] A、从调度SCADA系统采集电网各电压等级节点实时运行数据;

[0008] B、以全网电能损耗最小为第一目标函数、以设备动作次数最少为第二目标函数建立无功电压优化的数学模型,所述设备包括主变分接头开关和电容器组;

[0009] C、根据本级电压等级电网各节点的实时运行数据,以电压不越限、无功不倒送为约束条件,结合潮流计算、负荷预测、专家系统和数值分析对第一目标函数进行快速求解,获得第一目标函数的多个解,包括第一最优解和多个次优解;

[0010] D、根据第一目标函数的多个解,以主变分接头开关动作次数合格、电容器组投切顺序和次数合格为约束条件,对第二目标函数进行求解,获得多个分别对应于第一目标函数的多个解的主变分接头开关动作次数与电容器组投切动作顺序和次数,并将主变分接头开关及电容器组动作次数最小时对应的第一目标函数的解确定为最优解,最优解包括主变分接头开关最佳档位数、电容器最佳投入容量和电网最优运行电压;

[0011] E、根据上级潮流计算结果,结合预测本级负荷趋势求解本级电压等级电网的无功潮流,无功潮流计算用于保证电容器组投切或者主变分接头开关档位调整时,供电电源关口功率因数合格;

[0012] F、根据无功潮流计算结果、预测本级负荷趋势和专家系统,对最优解所对应的各

个变电站的电容器组投切和主变分接头开关动作对电网各节点电压及全网电能损耗的影响进行灵敏度校验,当灵敏度校验结果符合规定的要求时,向各集控站发送控制指令,各集控站根据控制指令执行电容器组投切或者主变分接头开关档位调节的动作。

[0013] 进一步的,所述步骤F中的灵敏度校验包括:

[0014] 调节主变分接头开关档位对本级支路电压影响最大,对下级支路电压影响较大,而对上级支路或同层支路影响不大;

[0015] 无功补偿对补偿节点电压影响最大,对上级支路节点影响次之,对同层支路节点电压影响较小;

[0016] 调节上级主变分接头开关档位对电能损耗影响最大,而调节同层主变分接头开关档位的影响大小取决于各支路负荷的大小和线路参数的影响;

[0017] 调节最末端变电站的无功补偿对电能损耗影响最大,而同层节点无功补偿对电能损耗的影响主要取决于各自线路所带负荷的大小和线路参数,当线路所带负荷较重时,在该线路上补偿无功对线损的影响较大,反之亦然;

[0018] 各节点无功补偿对全网各节点电压及电能损耗都有影响。

[0019] 进一步的,所述专家系统为把主变分接头开关档位调节、电容器投切及经验用式规则表示,式规则为表示具有因果关系的知识。

[0020] 进一步的,所述第一目标函数为  $\Delta P = \min \sum_{i=1}^n f_1(U_i, K_i, Q_i)$ 、第二目标函数为

$N = \min \sum_{i=1}^n [f_3(K_i - K_T) + f_4(Q_i - Q_c)]$ ,其中,  $U_i = f_2(K_1 \cdots K_i, Q_1 \cdots Q_i)$ ,  $U_i$  为电网中第  $i$  个变电站

的母线电压,  $K_i$  为电网中第  $i$  个变电站主变分接头开关应处档位数,  $Q_i$  为电网中第  $i$  个变电站应投电容器容量,  $K_T$  为电网中第  $i$  个变电站主变当前分接开关档位数,  $Q_c$  为电网中第  $i$  个变电站所配电容器容量,  $n$  为电网中变电站的个数。

[0021] 本发明还可通过以下技术方案实现:

[0022] 一种全网无功电压优化分层控制系统,包括:

[0023] 用于从调度SCADA系统采集电网各电压等级各节点实时运行数据的装置;

[0024] 用于以全网电能损耗最小为第一目标函数、以设备动作次数最少为第二目标函数建立无功电压优化的数学模型,所述设备包括主变分接头开关和电容器组的装置;

[0025] 用于根据本级电压等级电网各节点的实时运行数据,以电压不越限、无功不倒送为约束条件,结合潮流计算、负荷预测、专家系统和数值分析对第一目标函数进行快速求解,获得第一目标函数的多个解的装置,所述多个解包括第一最优解和多个次优解;

[0026] 用于根据第一目标函数的多个解,以主变分接头开关动作次数合格、电容器组投切顺序和次数合格为约束条件,对第二目标函数进行求解,获得多个分别对应于第一目标函数的多个解的主变分接头开关动作次数与电容器组投切动作顺序和次数,并将主变分接头开关及电容器组动作次数最小时对应的第一目标函数的解确定为最优解的装置,所述最优解包括主变分接头开关最佳档位数、电容器最佳投入容量和电网最优运行电压;

[0027] 用于根据上级潮流计算结果,结合预测本级负荷趋势求解本级电压等级电网的无功潮流的装置,潮流计算用于保证电容器组投切或者主变分接头开关档位调整时,供电电源关口功率因数合格;

[0028] 用于根据无功潮流计算结果、预测本级负荷趋势和专家系统,对最优解所对应的各个变电站的电容器组投切和主变分接头开关动作对电网各节点电压及全网电能损耗的影响进行灵敏度校验,当灵敏度校验结果符合规定的要求时,向各集控站发送控制指令,各集控站根据控制指令执行电容器组投切或者主变分接头开关档位调节的装置的装置。

[0029] 本发明具有如下有益效果:

[0030] 本发明以全网电能损耗最小和设备动作次数最少为目标函数,求解最优解,获得主变分接头开关最佳档位、电容器最佳投入容量和电网最优运行电压,并根据上级电压等级电网的潮流计算结果结合预测本级负荷趋势、计算本级电压等级电网的无功潮流,根据无功潮流计算结果和专家系统对各个变电站的电容器组投切及主变分接头开关动作对电网各节点电压及全网电能损耗的影响进行灵敏度校验,灵敏度校验结果符合规定的要求时向本级电压等级电网的各集控站发送控制指令,各集控站根据控制指令执行电容器组投切或者主变分接头开关档位调节的动作,实现分层控制,且无需人力对电网进行监控,节省人力成本,减少工作量,提高无功优化效率,根据电网实时变化来调整无功投入,控制精度高,避免造成主变分接头开关调节振荡和电容器组投切振荡。

## 附图说明

[0031] 下面结合附图对本发明做进一步详细说明。

[0032] 图1为本发明流程图。

## 具体实施方式

[0033] 如图1所示,全网无功电压优化分层控制方法包括以下步骤:

[0034] A、从调度SCADA系统采集电网各电压等级各节点实时运行数据,实时运行数据包括各变电站的母线电压、无功功率、有功功率等;

[0035] B、以全网电能损耗最小为第一目标函数、以设备动作次数最少为第二目标函数建立无功电压优化的数学模型,所述设备包括主变分接头开关和电容器组,第一目标函数为

$$\Delta P = \min \sum_{i=1}^n f_1(U_i, K_i, Q_i), \text{第二目标函数为 } N = \min \sum_{i=1}^n [f_3(K_i - K_T) + f_4(Q_i - Q_c)], \text{其中, } U_i =$$

$f_2(K_1 \cdots K_i, Q_1 \cdots Q_i)$ ,  $U_i$ 为电网中第*i*个变电站的母线电压,  $K_i$ 为电网中第*i*个变电站主变分接头开关应处档位,  $Q_i$ 为电网中第*i*个变电站应投电容器容量,  $K_T$ 为电网中第*i*个变电站主变当前分接开关档位,  $Q_c$ 为电网中第*i*个变电站所配电容器容量,  $n$ 为电网中变电站的个数;

[0036] C、根据本级电压等级电网各节点的实时运行数据,以电压不越限、无功不倒送为约束条件,结合潮流计算、负荷预测、专家系统和数值分析对第一目标函数进行快速求解,获得第一目标函数的多个解,包括第一最优解和多个次优解,每个解均包括主变分接头开关的档位、电容器投入容量和电网运行电压,第一最优解对应于全网电能损耗为最小  $\Delta P_{\min}$  时,多个次优解分别对应于电能损耗为  $K * \Delta P_{\min}$  时,其中,  $K = 1.1, 1.2, 1.3 \dots$ ;

[0037] D、根据第一目标函数的多个解,以主变分接头开关动作次数合格、电容器组投切顺序和次数合格为约束条件,对第二目标函数进行求解,获得多个分别对应于第一目标函数的多个解的主变分接头开关动作次数与电容器组投切动作顺序和次数,并将主变分接头开关及电容器组动作次数最小时对应的第一目标函数的解确定为最优解,最优解包括主变

分接头开关最佳档位数、电容器最佳投入容量和电网最优运行电压；

[0038] E、根据上级潮流计算结果，结合预测本级负荷趋势，求解本级电压等级电网的无功潮流，无功潮流计算用于保证电容器组投切或者主变分接头开关档位调整时，供电电源关口功率因数合格；

[0039] F、根据无功潮流计算结果和专家系统，对最优解所对应的各个变电站的电容器组投切和主变分接头开关动作对电网各节点电压及全网电能损耗的影响进行灵敏度校验，当灵敏度校验结果符合规定的要求时，向各集控站发送控制指令，各集控站根据控制指令执行电容器组投切或者主变分接头开关档位调节的动作，灵敏度校验包括：

[0040] 调节主变分接头开关档位对本级支路电压影响最大，对下级支路电压影响较大，而对上级支路或同层支路影响不大；

[0041] 无功补偿对补偿节点电压影响最大，对上级支路节点影响次之，对同层支路节点电压影响较小；

[0042] 调节上级主变分接头开关档位对电能损耗影响最大，而调节同层主变分接头开关档位的影响大小取决于各支路负荷的大小和线路参数的影响；

[0043] 调节最末端变电站的无功补偿对电能损耗影响最大，而同层节点无功补偿对电能损耗的影响主要取决于各自线路所带负荷的大小和线路参数，当线路所带负荷较重时，在该线路上补偿无功对线损的影响较大，反之亦然；

[0044] 各节点无功补偿对全网各节点电压及电能损耗都有影响。

[0045] 其中，专家系统为把主变分接头开关档位调节、电容器投切及经验用式规则表示，式规则为表示具有因果关系的知识，其基本形式如下：

[0046] IF P THEN Q

[0047] 其中，P代表一组前提或状态，Q代表若干结论或动作，其含义是如果前提P得以满足，即为“真”，则可得出结论Q或Q所规定的动作，以如下例子来进行说明：

[0048] (1) 前提：实施全网优化调节电压，获得以最少的变压器分接开关调节次数，达到了最大范围地提高电压合格率，避免了多变电所多主变同时调节主变分接开关引起的分接开关调节振荡。

[0049] 状态：当无功功率流向合理，某变电所低压侧母线电压偏离合格范围时；

[0050] 结论：分析同电源同电压级变电所和上级变电所电压情况，自行决定是调节本变电所主变分接开关档位还是调节上级电源变电所主变分接开关档位。

[0051] (2) 前提：实现全网调节无功补偿，最大限度地实现无功功率分层平衡和就地平衡。

[0052] 状态：当地区电力网内各级变电所电压处在合格范围之内，

[0053] 结论：在不向上一级电压等级电网倒送无功的前提下，实现本级电力网内无功流向合理，允许并实现无功功率就地平衡。

[0054] (3) 前提：实现无功电压综合控制，确保电容器最大容量投入。

[0055] 状态：当变电所母线电压偏高时，

[0056] 动作：先调低主变分接开关档位，达不到要求时，再切电容器组；

[0057] 状态：当变电所母线电压偏低时，

[0058] 动作：先投电容器组，再调升主变分接开关档位。

- [0059] 全网无功电压优化分层控制系统包括：
- [0060] 用于从调度SCADA系统采集电网各电压等级各节点实时运行数据的装置；
- [0061] 用于以全网电能损耗最小为第一目标函数、以设备动作次数最少为第二目标函数建立无功电压优化的数学模型，所述设备包括主变分接头开关和电容器组的装置；
- [0062] 用于根据本级电压等级电网各节点的实时运行数据，以电压不越限、无功不倒送为约束条件，结合潮流计算、负荷预测、专家系统和数值分析对第一目标函数进行快速求解，获得第一目标函数的多个解的装置，所述多个解包括第一最优解和多个次优解；
- [0063] 用于根据第一目标函数的多个解，以主变分接头开关动作次数合格、电容器组投切顺序和次数合格为约束条件，对第二目标函数进行求解，获得多个分别对应于第一目标函数的多个解的主变分接头开关动作次数与电容器组投切动作顺序和次数，并将主变分接头开关及电容器组动作次数最小时对应的第一目标函数的解确定为最优解的装置，所述最优解包括主变分接头开关最佳档位数、电容器最佳投入容量和电网最优运行电压；
- [0064] 用于根据上级潮流计算结果，结合预测本级负荷趋势求解本级电压等级电网的无功潮流的装置，潮流计算用于保证电容器组投切或者主变分接头开关档位调整时，供电电源关口功率因数合格；
- [0065] 用于根据无功潮流计算结果、预测本级负荷趋势和专家系统，对最优解所对应的各个变电站的电容器组投切和主变分接头开关动作对电网各节点电压及全网电能损耗的影响进行灵敏度校验，当灵敏度校验结果符合规定的要求时，向各集控站发送控制指令，各集控站根据控制指令执行电容器组投切或者主变分接头开关档位调节的装置的装置。
- [0066] 以上所述，仅为本发明的较佳实施例而已，故不能以此限定本发明实施的范围，即依本发明申请专利范围及说明书内容所作的等效变化与修饰，皆应仍属本发明专利涵盖的范围内。



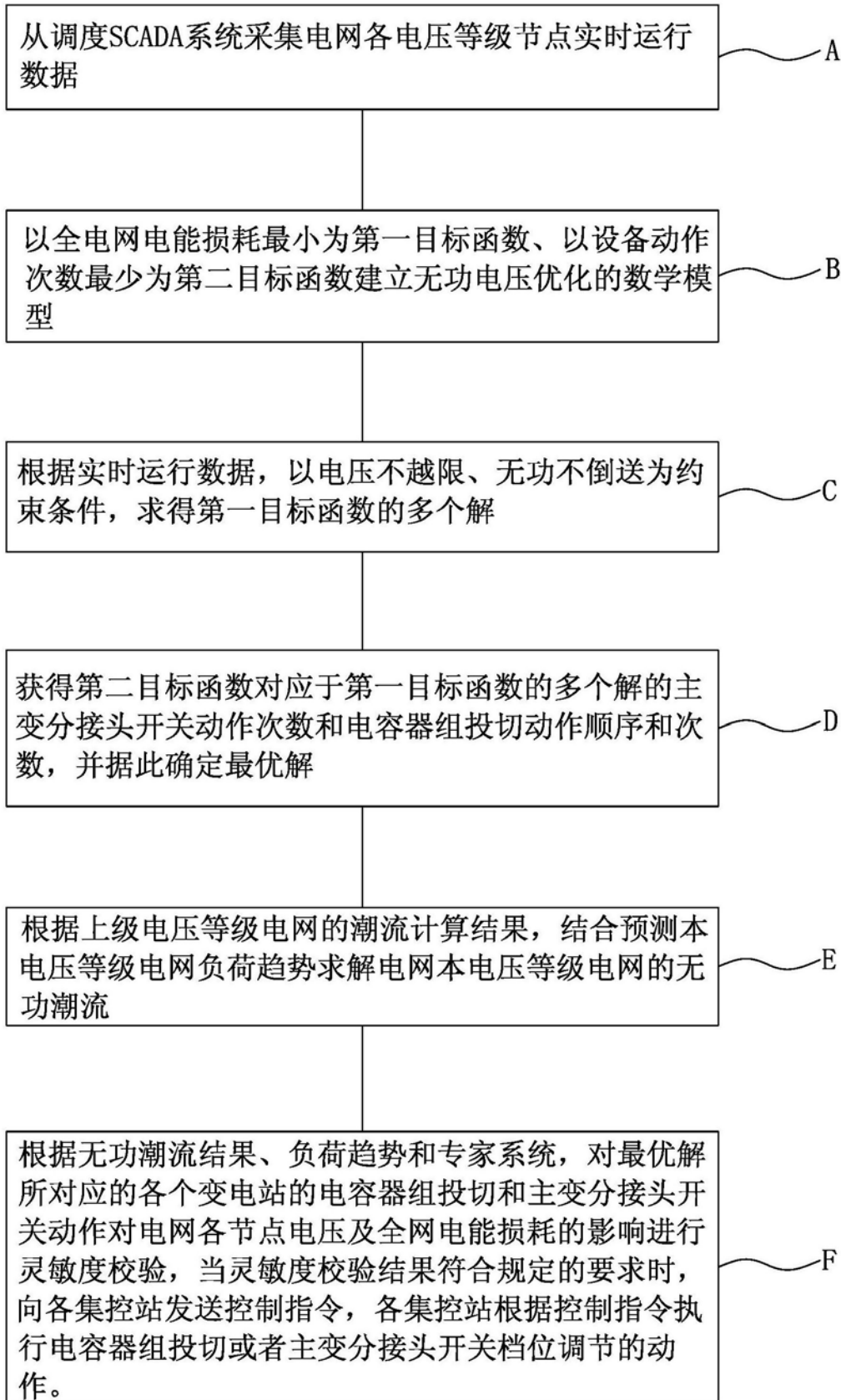


图1