



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103746333 B

(45)授权公告日 2016.07.13

(21)申请号 201310650106.1

CN 2588634 Y, 2003.11.26,

(22)申请日 2013.12.06

CN 201156190 Y, 2008.11.26,

(73)专利权人 国网山东省电力公司

CN 101592374 A, 2009.12.02,

地址 250001 山东省济南市市中区经二路
150号

CN 201672624 U, 2010.12.15,

(72)发明人 王相伟 朱伟义 袁伟玉 宋振伟
王海燕

CN 102222875 A, 2011.10.19,

(74)专利代理机构 济南泉城专利商标事务所
37218

US 6478084 B1, 2002.11.12,

代理人 褚庆森

US 6388852 B1, 2002.05.14,

薛晨等.智能电网中的电网友好技术概述及
展望.《电力系统自动化》.2011, 第35卷(第15
期),

审查员 陈文达

(51)Int.Cl.

H02H 3/247(2006.01)

G05D 23/20(2006.01)

(56)对比文件

CN 102487188 A, 2012.06.06,

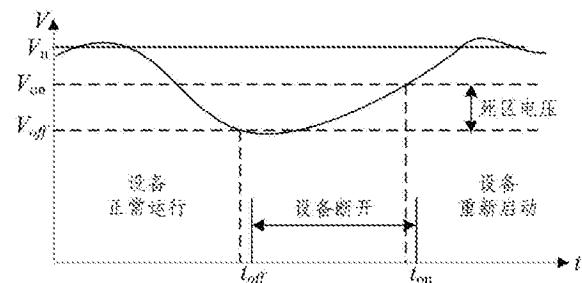
权利要求书1页 说明书10页 附图5页

(54)发明名称

不同用电环境下家庭用电设备的控制方法

(57)摘要

本发明的不同用电环境下家庭用电设备的控制方法,包括:a).采集电网电压;b).判断电压与响应阈值的关系,判断是否满足 $V_t \leq V_{off}$;c).判断在响应延时 Δt_1 内是否一直满足 $V_t \leq V_{off}$;d).判断电压与恢复阈值的关系;e).判断在响应延时 Δt_2 内是否一直满足 $V_t \geq V_{on}$,如果一直满足,则恢复对用电设备的供电,进行下一轮检测;如果不一直满足,则跳转执行步骤d)。本发明的控制方法,在对用电环境进行深入分析之后,研究了考虑不同用电环境的空调控制策略,实现了对用电设备的保护,避免了电网电压的进一步拉低,实现了用户与电网之间的灵活、友好互动。



1.一种不同用电环境下家庭用电设备的控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

1).初始情况的设定,在初始情况下,设电网的电压值为 V_0 ,用户设定的用电设备的温度值 T_0 与温度设定的上限 T_{high}^{normal} 、温度设定的下限 T_{low}^{normal} 之间满足关系式(2):

$$T_0 = \frac{T_{high}^{normal} + T_{low}^{normal}}{2} \quad (2)$$

2).采集电网电压,以T为周期对用电设备的电网电压 V_t 进行采样,并对每次采集的电网电压 V_t 进行记录;采样频率 Δf 与采用周期T满足关系式(3):

$$T = \frac{1}{\Delta f} \quad (3)$$

3).判断电压是否偏低,判断步骤2)中检测到的电网实时电压 V_t 是否偏低且超出电压正常波动范围,如果超出电压正常波动范围,则执行步骤4);如果没有超出电压正常波动范围,则继续进行判断;

4).调整温度上下限,按照公式(4)对用电设备的温度设定的上限值、下限值进行调整:

$$\begin{cases} T_{high} = T_{high}^{normal} + k_v \cdot (V_t - V_0) \\ T_{low} = T_{low}^{normal} + k_v \cdot (V_t - V_0) \end{cases} \quad (4)$$

用电设备的温度设定值 T_1 按照公式(5)进行调整:

$$T_1 = \frac{T_{high} + T_{low}}{2} \quad (5)$$

其中, T_{high} 、 T_{low} 分别为调整后温度设定值的上限和下限, k_v 为电压随温度变化的常系数。

2.根据权利要求1所述的不同用电环境下家庭用电设备的控制方法,其特征在于:所述的电压随温度变化的常系数 k_v 取值满足:对于夏季空调、电风扇、冰箱的制冷设备, k_v 取负值;对于冬季空调、电热器、电油汀制热设备, k_v 取正值。

不同用电环境下家庭用电设备的控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种家庭用电设备的控制方法,更具体的说,尤其涉及一种根据检测的电压大小来切除或开启用电设备或者对预设温度进行调整的不同用电环境下家庭用电设备的控制方法。

背景技术

[0002] 近年来,随着国民经济的快速发展和人民生活水平的不断提高,空调负荷的急剧增长已成为夏季电网负荷特性恶化和电力紧缺的重要原因。在居民用电负荷中,各类空调已属于最典型的受用电环境影响的家庭用电设备。由于空调类负荷中的感应电动机转动惯量较小,并且在遭受扰动时机械力矩是一个恒转矩,和转速的关系较小,在系统故障时,没有低压保护的空调堵转后会继续从系统中吸收大量的有功、无功,对电网的电压稳定性构成了较大的威胁。

[0003] 传统意义上的用电环境主要是指用户或用电设备所处的气象环境,包括温度、相对湿度、风力、风向等。电力负荷中存在大量的天气敏感负荷,在夏季主要是制冷负荷,如空调、电风扇、冰箱等,而在冬季主要是制暖负荷,如空调、电热器、电油汀等,这类负荷的典型特征是气候变化影响较大。其本质原因是,环境的变化会影响人体的舒适度,从而改变人类个体的用电行为,最终对电力负荷构成影响。但现有的家电均不可自动调整其运行方式,不能根据外界条件的变化,与用电环境进行灵活、友好互动。

发明内容

[0004] 本发明为了克服上述技术问题的缺点,提供了一种不同用电环境下家庭用电设备的控制方法。

[0005] 本发明的不同用电环境下家庭用电设备的控制方法,其特别之处在于,包括以下步骤:a).采集电网电压,以T为周期对用电设备的电网电压V_t进行采样,并对每次采集的电网电压V_t进行记录;采样频率Δ_f与采用周期T满足关系式(1):

$$[0006] T = \frac{1}{\Delta f} \quad (1)$$

[0007] b).判断电压与响应阈值的关系,将采集的电网电压V_t与用电设备的电压响应阈值V_{off}进行比较,判断是否满足V_t ≤ V_{off},如果满足,则执行步骤c);如果不满足,则对采集的下一电网电压进行判断;c).判断响应延时内的状态,判断在响应延时Δ t₁=m • T内是否一直满足V_t ≤ V_{off},如果一直满足,则切断用电设备的供电,执行步骤d);如果不一直满足,则跳转执行步骤a);d).判断电压与恢复阈值的关系,将采集的电网电压V_t与用电设备的电压恢复阈值V_{on}进行比较,判断是否满足V_t ≥ V_{on},如果满足,则执行步骤e);如果不满足,则继续对采集的电网电压V_t与用电设备的电压恢复阈值V_{on}之间的关系进行判断;其中,V_{on}>V_{off};e).判断响应延时内的状态,判断在响应延时Δ t₂=n • T内是否一直满足V_t ≥ V_{on},如果一直满足,则恢复对用电设备的供电,进行下一轮检测;如果不一直满足,则跳转执行步骤

d)。

[0008] 本发明的不同用电环境下家庭用电设备的控制方法,设用电设备所在电网的额定电压为 V_n ,电压响应阈值 V_{off} 、电压恢复阈值 V_{on} 满足: $V_{off}=0.93V_n$, $V_{on}=0.95V_n$;电压检测周期 $T=0.01s$, $1 < m \leq 5$, $1 < n \leq 5$ 。

[0009] 本发明的不同用电环境下家庭用电设备的控制方法,其特别之处在于,包括以下步骤:1).初始情况的设定,在初始情况下,设电网的电压值为 V_0 ,用户设定的用电设备的温度值 T_0 与温度设定的上限 T_{high}^{normal} 、温度设定的下限 T_{low}^{normal} 之间满足关系式(2):

$$[0010] T_0 = \frac{T_{high}^{normal} + T_{low}^{normal}}{2} \quad (2)$$

[0011] 2).采集电网电压,以T为周期对用电设备的电网电压 V_t 进行采样,并对每次采集的电网电压 V_t 进行记录;采样频率 Δf 与采用周期T满足关系式(3):

$$[0012] T = \frac{1}{\Delta f} \quad (3)$$

[0013] 3).判断电压是否偏低,判断步骤2)中检测到的电网实时电压 V_t 是否偏低且超出电压正常波动范围,如果超出电压正常波动范围,则执行步骤4);如果没有超出电压正常波动范围,则继续进行判断;4).调整温度上下限,按照公式(4)对用电设备的温度设定的上限值、下限值进行调整:

$$[0014] \begin{cases} T_{high} = T_{high}^{normal} + k_v \cdot (V_t - V_0) \\ T_{low} = T_{low}^{normal} + k_v \cdot (V_t - V_0) \end{cases} \quad (4)$$

[0015] 用电设备的温度设定值 T_1 按照公式(5)进行调整:

$$[0016] T_1 = \frac{T_{high} + T_{low}}{2} \quad (5)$$

[0017] 其中, T_{high} 、 T_{low} 分别为调整后温度设定值的上限和下限, k_v 为电压随温度变化的常系数。

[0018] 本发明的不同用电环境下家庭用电设备的控制方法,所述的电压随温度变化的常系数 k_v 取值满足:对于夏季空调、电风扇、冰箱的制冷设备, k_v 取负值;对于冬季空调、电热器、电油汀制热设备, k_v 取正值。

[0019] 本发明的有益效果是:本发明的不同用电环境下家庭用电设备的控制方法,在对用电环境进行深入分析之后,研究了考虑不同用电环境的空调控制策略,并研究了多家庭用电设备的协调控制技术开发了电网友好型空调控制方法,有利于实现用户与电网之间的灵活、友好互动。

[0020] 在第一种控制方法中,通过检测用电设备的电网电压,当电压过低且在响应延时 Δt_1 内始终过低时,则停止对用电设备供电,实现了对用电设备的保护,避免了电网电压的进一步拉低。当检测到用电设备的电压上升至恢复阈值 V_{on} 且在响应延时 Δt_2 内始终维持时,则开启用电设备,以避免用电设备过长时间断电,而影响其正常使用。

[0021] 在第二种控制方法中,通过对用电设备的电网电压进行采样,如果其偏低且超出

电压正常波动范围,调整用电设备的预设温度,以降低用电设备的电能消耗,有利于电网电压恢复正常值。上述两种控制方法均实现了实现用户与电网间的灵活、友好互动,最大限度地将电网电压维持在正常合理水平。

附图说明

- [0022] 图1为本发明中控制方法一的原理示意图;
- [0023] 图2为本发明中控制方法二的原理示意图;
- [0024] 图3为采用控制方法二时用电设备状态变化示意图;
- [0025] 图4为采用典型配电网15节点算例的原理图;
- [0026] 图5为加载的冲击负荷的示意图;
- [0027] 图6为参与响应的空调负荷占10%,有无控制方法一时的bus5电压变化情况;
- [0028] 图7为参与响应的空调负荷占20%,有无控制方法一时的bus5电压变化情况;
- [0029] 图8为参与响应的空调负荷占30%,有无控制方法一时的bus5电压变化情况;
- [0030] 图9为参与响应的空调负荷占40%,有无控制方法一时的bus5电压变化情况;
- [0031] 图10为参与响应的空调负荷占50%,有无控制方法一时的bus5电压变化情况。

具体实施方式

- [0032] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。
- [0033] 如图1所示,给出了本发明中控制方法一的原理图,其通过以下方法来实现:
- [0034] a).采集电网电压,以T为周期对用电设备的电网电压V_t进行采样,并对每次采集的电网电压V_t进行记录;采样频率Δf与采用周期T满足关系式(1):

$$[0035] T = \frac{1}{\Delta f} \quad (1)$$

- [0036] b).判断电压与响应阈值的关系,将采集的电网电压V_t与用电设备的电压响应阈值V_{off}进行比较,判断是否满足V_t ≤ V_{off},如果满足,则执行步骤c);如果不满足,则对采集的下一电网电压进行判断;
- [0037] c).判断响应延时内的状态,判断在响应延时 Δ t₁=m • T内是否一直满足V_t ≤ V_{off},如果一直满足,则切断用电设备的供电,执行步骤d);如果不一直满足,则跳转执行步骤a);
- [0038] d).判断电压与恢复阈值的关系,将采集的电网电压V_t与用电设备的电压恢复阈值V_{on}进行比较,判断是否满足V_t ≥ V_{on},如果满足,则执行步骤e);如果不满足,则继续对采集的电网电压V_t与用电设备的电压恢复阈值V_{on}之间的关系进行判断;其中,V_{on}>V_{off};
- [0039] e).判断响应延时内的状态,判断在响应延时 Δ t₂=n • T内是否一直满足V_t ≥ V_{on},如果一直满足,则恢复对用电设备的供电,进行下一轮检测;如果不一直满足,则跳转执行步骤d)。

[0040] 其中,设用电设备所在电网的额定电压为V_n,电压响应阈值V_{off}、电压恢复阈值V_{on}满足:V_{off}=0.93V_n,V_{on}=0.95V_n;电压检测周期T=0.01s,1<m≤5,1<n≤5。

[0041] 考虑到不同的用电环境,电压检测周期及常数m、n的取值稍有不同。针对用电环境在空间上的不同,对于夏季的南方或冬季的北方,空调负荷比重较高,电网电压波动往往较大且频繁,因此相应的电压检测周期及m、n的取值应适当偏小一些,使得用电设备能尽快响

应电压的变化,更多地参与电网友好互动。相反,在一年中的其它季节,南北方的大部分地区气温较为适中,空调负荷比重较小,电网电压较为稳定,此时的电压检测周期及m、n的取值可适当偏大一些,避免用电设备的频繁启停对其自身造成损害。同理,针对用电环境在时间上的不同,对于炎热夏季或寒冷冬季,空调负荷比重高,电压波动频繁,相应的电压检测周期及m、n的取值应适当偏小;而对于春秋季节,气候比较宜人,各类制冷或制暖的大功率负荷使用较少,电网电压相对比较稳定,因此电压检测周期及m、n的取值可适当偏大一些。

[0042] 如图2所示,给出了本发明中控制方法二的原理示意图,其通过以下步骤来实现:

[0043] 1). 初始情况的设定,在初始情况下,设电网的电压值为 V_0 ,用户设定的用电设备的温度值 T_0 与温度设定的上限 T_{high}^{normal} 、温度设定的下限 T_{low}^{normal} 之间满足关系式(2):

$$[0044] T_0 = \frac{T_{high}^{normal} + T_{low}^{normal}}{2} \quad (2)$$

[0045] 2). 采集电网电压,以T为周期对用电设备的电网电压 V_t 进行采样,并对每次采集的电网电压 V_t 进行记录;采样频率 Δf 与采用周期T满足关系式(3):

$$[0046] T = \frac{1}{\Delta f} \quad (3)$$

[0047] 3). 判断电压是否偏低,判断步骤2)中检测到的电网实时电压 V_t 是否偏低且超出电压正常波动范围,如果超出电压正常波动范围,则执行步骤4);如果没有超出电压正常波动范围,则继续进行判断;

[0048] 4). 调整温度上下限,按照公式(4)对用电设备的温度设定的上限值、下限值进行调整:

$$[0049] \begin{cases} T_{high} = T_{high}^{normal} + k_v \cdot (V_t - V_0) \\ T_{low} = T_{low}^{normal} + k_v \cdot (V_t - V_0) \end{cases} \quad (4)$$

[0050] 用电设备的温度设定值 T_1 按照公式(5)进行调整:

$$[0051] T_1 = \frac{T_{high} + T_{low}}{2} \quad (5)$$

[0052] 其中, T_{high} 、 T_{low} 分别为调整后温度设定值的上限和下限, k_v 为电压随温度变化的常系数。

[0053] 所述的电压随温度变化的常系数 k_v 取值满足:对于夏季空调、电风扇、冰箱的制冷设备, k_v 取负值;对于冬季空调、电热器、电油汀制热设备, k_v 取正值。

[0054] 由图2可知,该控制策略是线性的,图中直线的斜率即为常数 k_v 。当电网电压由 V_0 降为 V_t 时,制冷设备的设定温度由 T_0 变为 T'_0 ,其内部自身的温度控制区间也相应发生变化。我们把 $T_{low} \sim T_{high}$ 的温度范围称为死区(Deadband),当制冷设备的温度处于死区范围时,其运行状态将不发生改变。由上图知,当用电设备主动响应电压变化调整其预设温度时,死区范围也相应变化。原来处于死区温度区间的部分用电设备经过主动响应后不再处于死区范围,因此其运行状态将发生变化。就上图而言,如果制冷设备的初始状态时打开的,且温度范围又处于图中阴影部分区域,则经过调整后该设备将被暂时关闭,以降低电网当前负荷

水平,有利于电网电压恢复。

[0055] 统计大量用电设备,认为其实时温度可以较均匀地分布在设定值的上限和下限之间,即处于“打开”和“关闭”状态的设备所占比例是趋于稳定的,则当电压变化 $\Delta V=V_t-V_0$ 时,且 $k_v \Delta V \leq T_{high}^{normal} - T_{low}^{normal}$,所引起的负荷功率的变化量如公式(6)所示:

$$[0056] \quad \left\{ \begin{array}{l} P_- = \frac{k_v \Delta V}{T_{high}^{normal} - T_{low}^{normal}} \times P_{total} \times \lambda \\ P_+ = \frac{k_v \Delta V}{T_{high}^{normal} - T_{low}^{normal}} \times P_{total} \times (1-\lambda) \end{array} \right. \quad (6)$$

[0057] 其中: P_- 表示电压变化时,由于控制策略的作用而减少的用电设备功率, P_+ 表示电压变化时,由于控制策略的作用而增加的用电设备功率; P_{total} 表示用电设备的总功率, λ 表示温度调整前处于“打开”状态的设备所占的比例。

[0058] 如图3所示,给出了采用控制方法二时用电设备状态变化示意图;针对不同的电压偏差,常系数 k_v 可有不同的取值,对于电压偏移较小时,如 $\Delta V \leq 0.1V_n$, k_v 取值较小;当电压偏移较大时,如 $\Delta V > 0.1V_n$, k_v 取值较大。

[0059] 为了对本发明的家庭用电设备的控制方法进行进一步说明,如图4所示,给出了仿真模型采用典型配电网15节点算例的原理图。在bus8、bus10、bus12和bus15这四个负荷节点中选择bus8、bus10和bus15作为电网友好的负荷响应节点,即图中的LGF节点1~LGF节点3,选取bus12作为扰动节点来模拟产生电网的电压波动,且该节点负荷不参与电网友好响应。各节点负荷构成为50%空调+50%恒阻抗,系统的主要参数如表1~表3所示:表1为发电机参数,表2为线路参数,表3为变压器参数。

[0060] 表1

[0061]	发电机名称	节点类型	容量 (MVA)	额定输出功率 (MW)
	G1	SLACK	10	8

[0062] 表2

[0063]	线路编号	起始节点	电阻 (Ω / km)	电抗 (Ω / km)	长度 (km)
	1	bus2-bus3	0.2	0.5	20
[0064]	2	bus3-bus4	0.2	0.5	20
	3	bus5-bus6	0.19	0.38	4
	4	bus6-bus7	0.19	0.38	2.5
	5	bus6-bus9	0.19	0.38	2
	6	bus5-bus11	0.19	0.38	7
	7	bus11-bus13	0.19	0.38	0.5
	8	bus13-bus14	0.19	0.38	0.5

[0065] 表3

变压器名称	起始节点	电压比 (kV)	容量 (MVA)	电抗 (%)
T1	bus1-bus2	13.8/69	10	6
T2	bus4-bus5	69/13.8	10	6
[0066]	T3	13.8/0.38	1	3
	T4	13.8/0.38	1	3
	T5	13.8/0.38	1	3
	T6	13.8/0.38	1	3

[0067] 仿真中设T3~T6均为满负荷运行,即每台变压器所带负荷容量均为1MVA。考虑3种不同类型的空调负荷:变频空调(A类)、商业中央空调(B类)、民用中央空调(C类),各自所占比例为40%、40%、20%,其主要参数如表4所示。

[0068] 表4

额定电压 kV	额定容 量 kVA	R _s	X _s	R _r	X _r	X _m	H
		p. u.	s				
[0069]	2	0.1	0.1	0.09	0.06	1.8	0.28
	5	0.053	0.083	0.036	0.068	1.9	0.28
	10	0.025	0.08	0.028	0.04	5.0	0.28

[0070] 在仿真系统中, bus13节点接有并联电容器进行无功补偿, 补偿容量为150kVar。

[0071] 控制策略中的各关键参数如下:

[0072] 电压检测频率 $\Delta f=0.01\text{s}$;

[0073] 用电设备电压响应阈值 $V_{off}=\text{rand}(0.92, 0.93)\text{p.u.}$;

[0074] 用电设备电压恢复阈值 $V_{on}=0.95\text{p.u.}$;

[0075] 最短响应时间 $t_{min}=5\text{s}$;

[0076] 最长响应时间 $t_{max}=5\text{min}$;

[0077] 响应延时 $\Delta t=0\text{s}$;

[0078] 在bus12节点上加入冲击负荷, 大小为 $850+i520\text{kVA}$, 起始时间为 10s , 结束时间为 110s , 如5所示, 给出了冲击负荷的示意图。

[0079] 设置LGF节点上参与电网友好响应的空调负荷比例, 可得到不同情况下各节点电压及负荷的响应曲线。

[0080] (a) 参与电网友好响应的空调负荷为总负荷的10%

[0081] 如表5所示, 给出了空调响应10%时各节点负荷响应情况统计结果, 由表中可知, LGF节点1响应时间最短, 为 24.4s , 而响应时间最长的LGF节点3也只有 89.15s , 因此这样短时间的切除空调负荷并不会影响用户的用电感受。考虑到空调从关闭到再次启动至少要经

历3~5min的时间,因此选择负荷结束响应min以后开始恢复,且设各节点恢复10%的空调负荷需要花费60s的时间。

[0082] 表5

[0083]	节点名称	响应 起始时刻	响应 终止时刻	总响应时长	负荷恢复 开始时刻	负荷恢复 完成时刻
	LGF 节点 1	16.37s	40.77s	24.40s	220.77s	280.77s
	LGF 节点 2	14.08s	39.61s	25.53s	219.61s	279.61s
	LGF 节点 3	12.11s	101.26s	89.15s	281.26s	341.26s

[0084] 如图6所示,给出了参与电网友好响应的空调负荷占节点总负荷的10%的情况下,各节点的电压变化情况与没有加入电网友好控制方法一时的电压变化情况对比。由图中结果可知,加入冲击负荷以后,各节点电压均出现骤降,而加入控制策略一以后,在一定程度上减缓了电压的下降趋势,且对最低点电压有明显的提升作用。以bus5节点为例,未加控制策略时节点的最低电压达到0.91364p.u.,而加入控制策略一以后,节点最低电压为0.92793p.u.,相比未加控制策略提升了1.43%。在负荷恢复期间,电网电压有一个小的波动,这是因为LGF节点1和LGF节点2的恢复开始时刻比较接近,一定容量负荷的同时恢复对电网造成了一定的冲击,但该冲击造成的电压波动是比较小的,仍然在配电网的电压波动允许范围之内。

[0085] (b)参与电网友好响应的空调负荷为总负荷的20%

[0086] 表6给出了空调响应20%时各节点负荷响应情况统计结果,可知与空调负荷为10%相比,因参与响应的空调负荷比例增大了,各LGF节点的总响应时长有所减少,LGF节点1响应时间最短,为13.78s,而响应时间最长的LGF节点3为88.92s。同样设定负荷结束响应3min以后开始恢复,且假设各节点恢复20%的空调负荷需要花费90s的时间。

[0087] 表6

[0088]	节点名称	响应 起始时刻	响应 终止时刻	总响应时长	负荷恢复 开始时刻	负荷恢复 完成时刻
	LGF 节点 1	18.09s	31.87s	13.78s	211.87s	301.87s
	LGF 节点 2	14.88s	31.10s	16.22s	211.10s	301.10s
	LGF 节点 3	12.11s	101.03s	88.92s	281.03s	371.03s

[0089] 图7为各节点参与电网友好响应的空调负荷为总负荷的20%的情况下,各节点的电压变化情况与没有加入电网友好控制方法一时的电压变化对比。由图中结果可知,当参与响应的空调负荷为20%时,控制策略一加入以后对于抑制电压下降的效果更为明显,对最低点电压的提升效果也更好,在负荷响应的短暂停时间内,各节点电压存在小幅波动。以bus5节点为例,电压波动过程中的最低值为0.94009,相比未加控制策略提升了2.64%。

在负荷恢复过程中,对电网电压存在一个小冲击,但是电压波动仍处于正常范围之内。

[0090] (c)参与电网友好响应的空调负荷为总负荷的30%

[0091] 表7给出了空调响应30%时各节点负荷响应情况统计结,可知,当参与响应的空调负荷比例为30%时,LGF节点1~LGF节点3的总响应时间为5.11s,LGF节点3在12.11s时最先开始响应,随后依次为LGF节点2和LGF节点1,响应时刻分别为15.65s和19.58s。负荷开始恢复的时刻依然为结束响应3min以后,且设恢复30%的负荷需要120s的时间。

[0092] 表7

	节点名称	响应起始时刻	响应终止时刻	总响应时长	负荷恢复开始时刻	负荷恢复完成时刻
[0093]	LGF 节点 1	19.58s	24.69s	5.11s	204.69s	324.69s
	LGF 节点 2	15.65s	20.76s	5.11s	200.76s	320.76s
	LGF 节点 3	12.11s	17.22s	5.11s	197.22s	317.22s

[0094] 图8为参与电网友好响应的空调负荷为总负荷的30%的情况下,各节点的电压变化情况与没有加入电网友好控制方法一时的电压变化对比。由图中明显可由看出,加入控制策略一以后,虽然负荷切除瞬间各节点电压存在波动,但波动结束之后电压能迅速恢复至稳态值以上,有效抑制了冲击负荷引起的电压骤降,有利于保持各节点的电压的稳定。从图中我们还可以发现,由于LGF节点的响应时刻相差较小,同时切除负荷量也比较大,负荷切除以后对电网存在一定的冲击,但并未使各节点电压超出正常范围。同样,在负荷恢复过程中对节点造成的冲击也没有使各节点电压超出稳定水平。

[0095] (d)参与电网友好响应的空调负荷为总负荷的40%

[0096] 表8为空调响应为40%时各节点负荷响应情况统计结,可知,此时只有LGF节点2和LGF节点3进行了响应,且总响应时长较短,分别为11.47s和5.38s,结果如表4-22所示。负荷恢复时刻为节点结束响应的3min以后,且设恢复40%的负荷需要150s。

[0097] 表8

	节点名称	响应起始时刻	响应终止时刻	总响应时长	负荷恢复开始时刻	负荷恢复完成时刻
[0098]	LGF 节点 1	—	—	—	—	—
	LGF 节点 2	16.62s	28.09s	11.47s	208.09s	358.09s
	LGF 节点 3	12.11s	17.49s	5.38s	197.49s	347.49s

[0099] 图9为参与电网友好响应的空调负荷为总负荷的40%的情况下,各节点的电压变化情况与没有加入电网友好控制方法一时的电压变化对比。由图中可知,当遭遇冲击负荷时,加入控制策略一可以在一定程度上抑制冲击负荷造成的电压骤降,对最低点电压的提升也起到较为明显的作用,但与参与响应空调负荷为30%时相比,效果稍差,主要体现在两

方面：一是对扰动期间电压骤降的抑制效果稍逊一筹，这主要是因为此时只有两个LGF节点参与了响应；二是负荷响应期间电压的波动比较剧烈，这是由于每个节点瞬间切除的负荷率较大，对电网造成了的冲击相对较大，不利于电网的稳定。

[0100] (e) 参与电网友好响应的空调负荷为总负荷的50%

[0101] 表9为空调响应50%时各节点负荷响应情况统计结果，可知，此时只有LGF节点2和LGF节点3进行了响应，响应时长分别为5.56s和5.11s，已经几乎接近最短响应时间了，结果如表4-23所示。根据各节点的结束响应时刻，设定负荷从结束响应3min以后开始恢复，且恢复50%的空调负荷需要的时间为180s。

[0102] 表9

[0103]	节点名称	响应起始时刻	响应终止时刻	总响应时长	负荷恢复开始时刻	负荷恢复完成时刻
	LGF 节点 1	—	—	—	—	—
	LGF 节点 2	16.62s	22.18s	5.56s	202.18s	382.18s
	LGF 节点 3	12.11s	17.22s	5.11s	197.22s	377.22s

[0104] 图10为参与电网友好响应的空调负荷为总负荷的50%的情况下，各节点的电压变化情况与没有加入电网友好控制方法一时的电压变化对比。由图中结果可知，加入控制策略一以后，对于扰动发生期间的电压具有较明显的提升作用，提升效果与参与响应的空调负荷比例为40%时类似。但是由于参与响应的节点较少，且每个节点瞬间切除的负荷比例较大，由图中电压波动情况明显可以看出，负荷响应期间对电网造成的波动较大。以bus5节点为例，负荷被切除之后的短暂停时间内，节点电压连续波动的最大值达到1.0315，高于标准电压的3%，对系统存在一定的影响。负荷恢复期间对电网存在一定冲击，引起电压有一个明显波动，但并未超出配电网电压的波动范围。

[0105] 综合以上分析可知，当电网中出现冲击负荷扰动时，会引起节点电压的大幅骤降，而加入电网友好的控制策略一以后，能够在一定程度上抑制电压下降的趋势，对节点最低电压具有明显提升作用。控制策略对节点电压的改善作用主要受参与电网友好响应的节点数及各节点参与响应的空调负荷比例的影响。由仿真结果可知，并不是每个节点中参与电网友好响应的空调负荷比例越大，响应效果越好，而是应该尽可能使更多的负荷节点参与响应，且每个节点参与响应的空调负荷比例不宜过大，这样更有利于电网电压的恢复，同时避免负荷响应对电网造成新的冲击。在负荷恢复过程中，空调负荷的集中启动会对电网造成一定的冲击，这种冲击会使节点电压出现一定程度的下降，但仍然处于配电网电压的正常波动范围内，因此不会对配电网的电压稳定造成影响。

[0106] 4.3.3多家庭用电设备的协调控制技术

[0107] 电网中含有很多可以作为协调互动的家庭用电设备，本节在已提出的基本控制策略的基础上，进一步考虑了多家庭用电设备进行响应的协调控制技术，在保证家庭用电设备主动参与电网响应、节约能源的同时，避免大量设备同时动作对电网产生冲击。

[0108] 在实际应用中，为避免用电设备的同步响应对电网造成的冲击，控制策略一中的

电压响应阈值和恢复阈值可适当随机化处理,可取 $V_{off}=Rand(0.92V_n, 0.93V_n)$, $V_{on}=Rand(0.95V_n, 0.96V_n)$ 。

[0109] 另外需要说明的是,用电设备响应完成之后的5分钟之内不再进行响应,最短响应时间可取典型值 $t_{min}=5s$,最长响应时间原则上应不超过 $t_{max}=5$ 分钟。以空调为例,若空调为短时间响应(1分钟以内),考虑到空调的重启需要至少3~5分钟的时间,具体取决于空调的类型及其厂家的型号。因此,可认为各空调在响应完成之后的3~5分钟之内,随机选择时间点进行启动。此时,近似认为某个节点空调恢复过程中的总功率与时间呈线性关系。若空调为较长时间响应(3~5分钟),则空调响应完成之后即可立即启动,启动之后的5分钟内不再进行响应。由于每台空调的响应电压阈值不一样,其初始响应时刻也必然不同,长时间响应时,空调响应的结束时间也将彼此不同,因此空调恢复的具体时刻也会不一样,避免了所有空调在同一时刻恢复对电网造成的冲击。

[0110] 4.4小结

[0111] 本章主要研究了用户用电环境与用电模式的相互影响规律以及用电环境对负荷特性的影响机理,并在此基础上研究了不同用电环境对用电交互终端、家庭用电控制设备的影响,提出了考虑不同用电环境的空调控制策略,对控制策略进行了仿真验证,并对多家家庭用电设备的协调控制技术进行了探讨,有利于实现用户与电网间的灵活、友好互动。

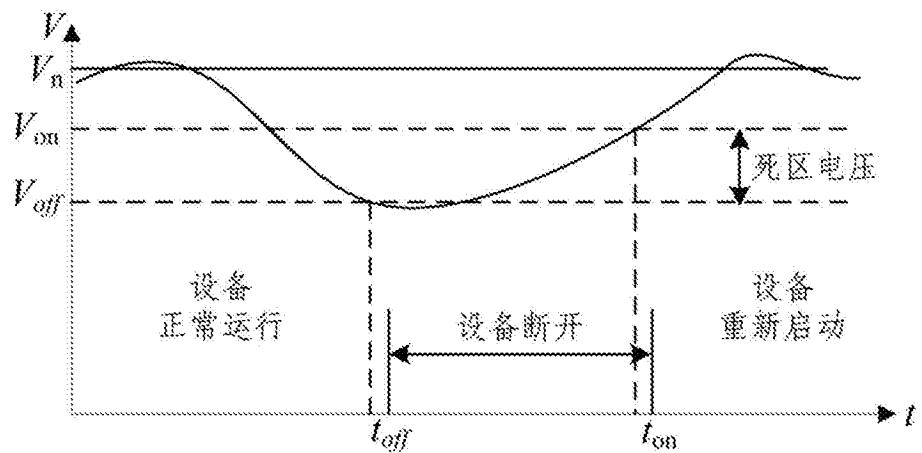


图1

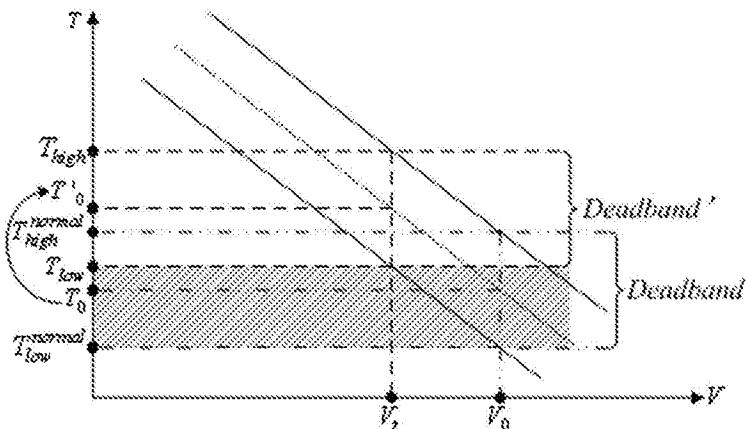


图2

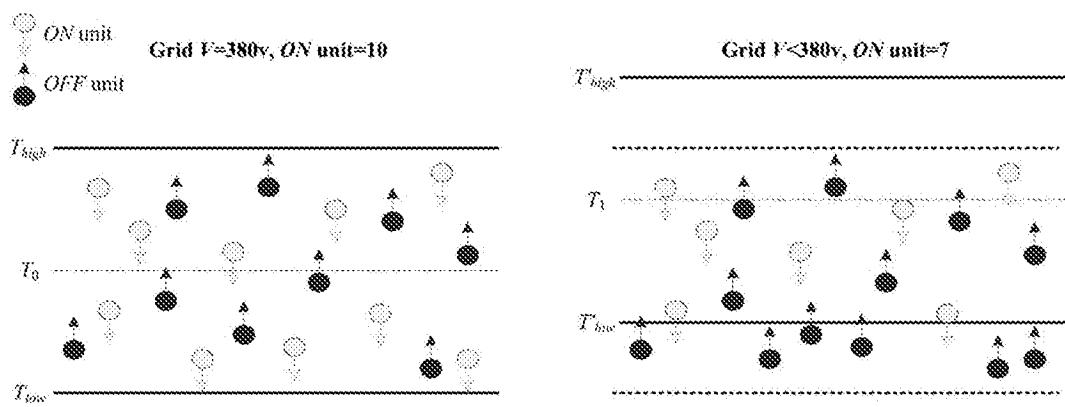


图3

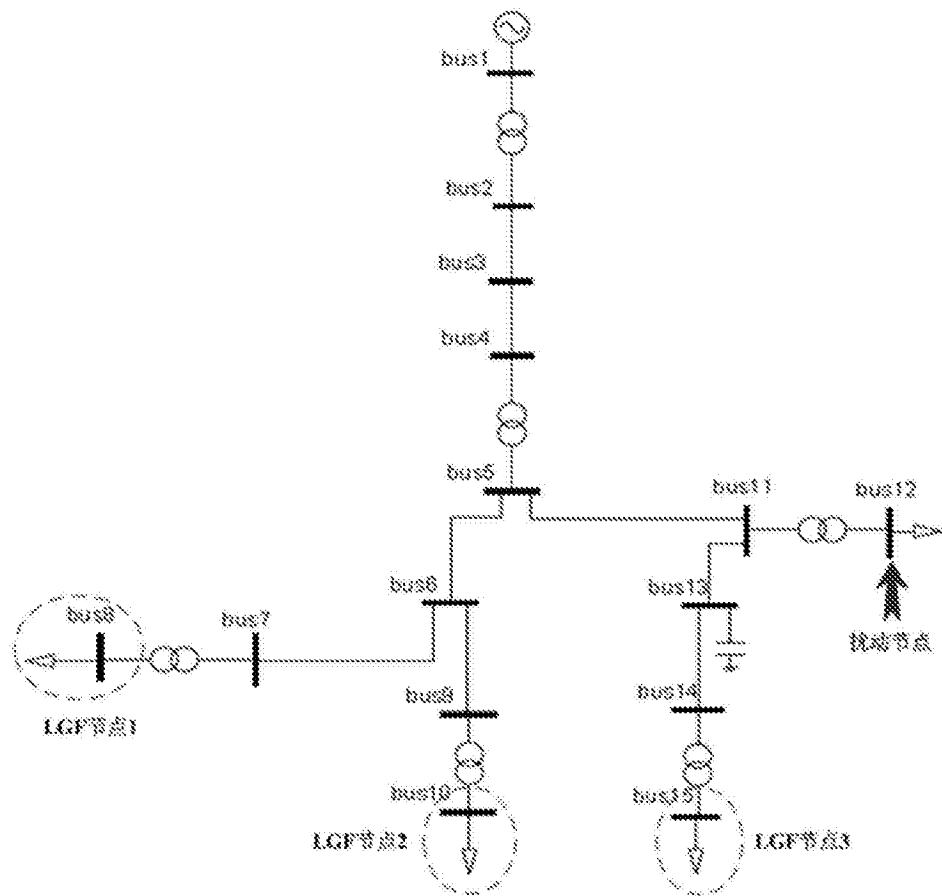
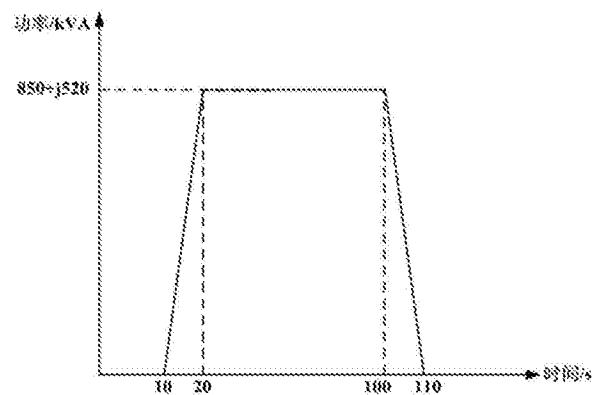


图4



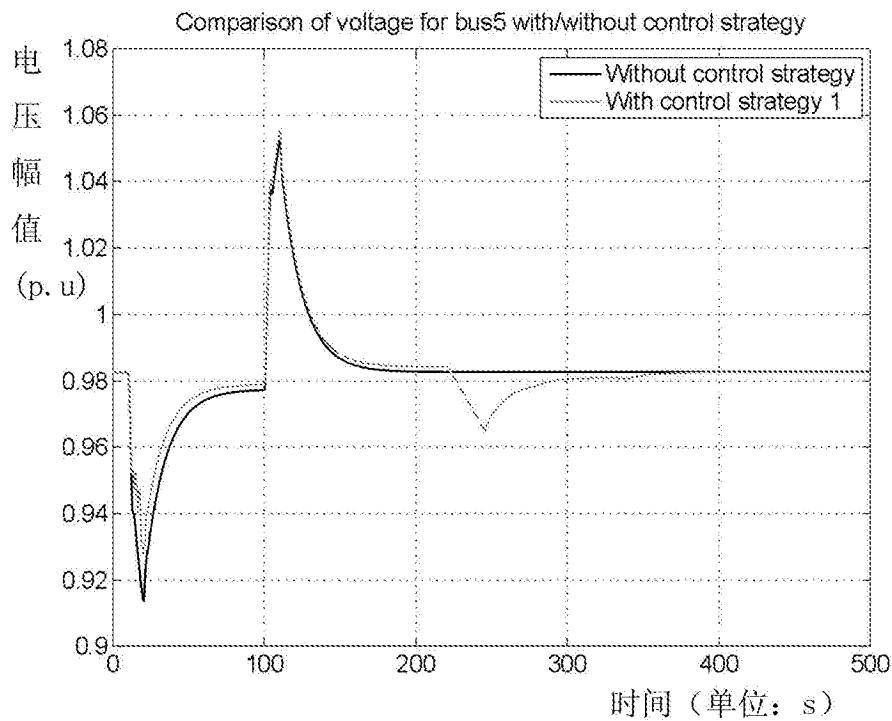


图6

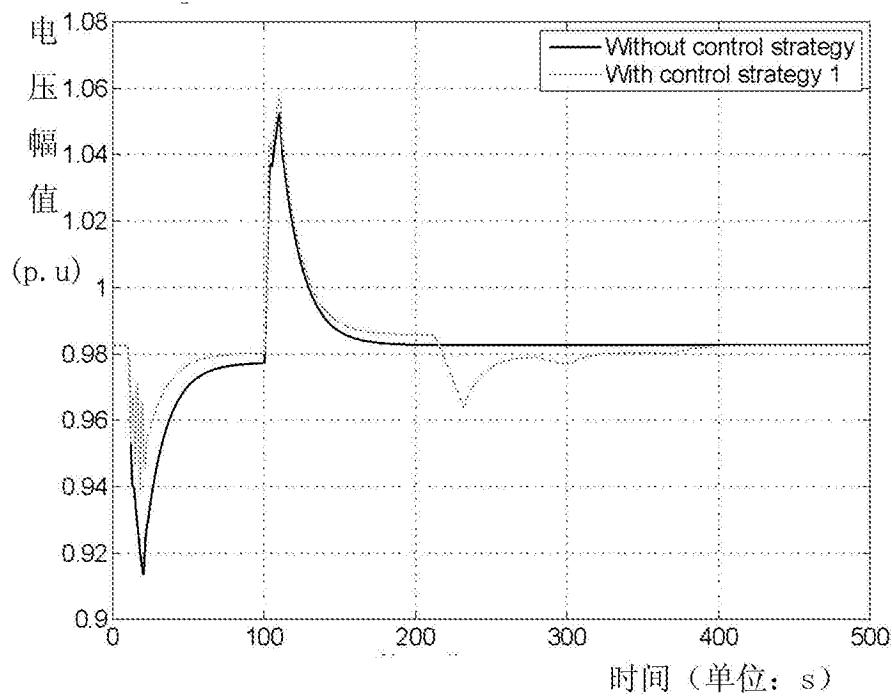


图7

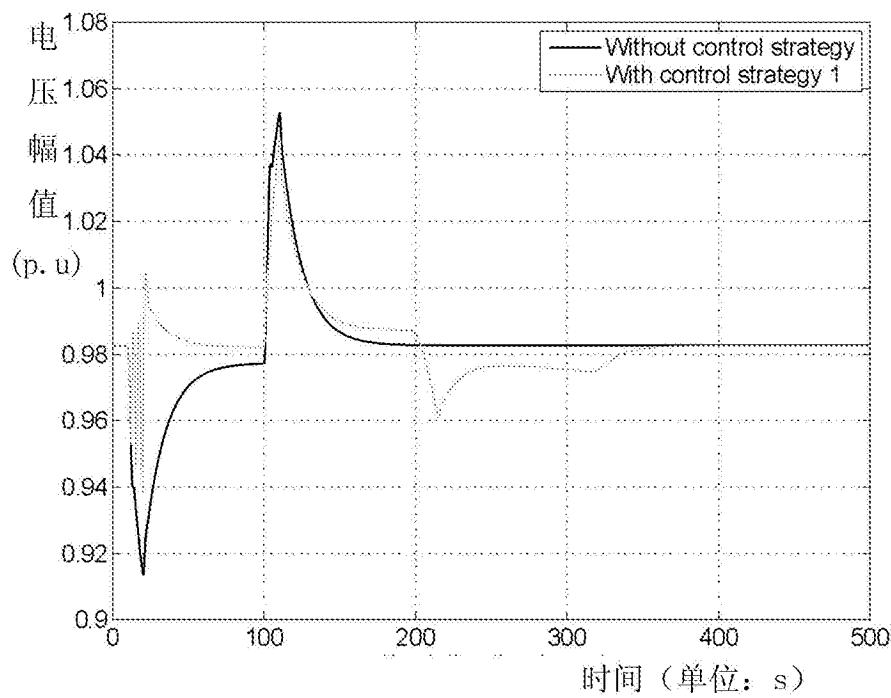


图8

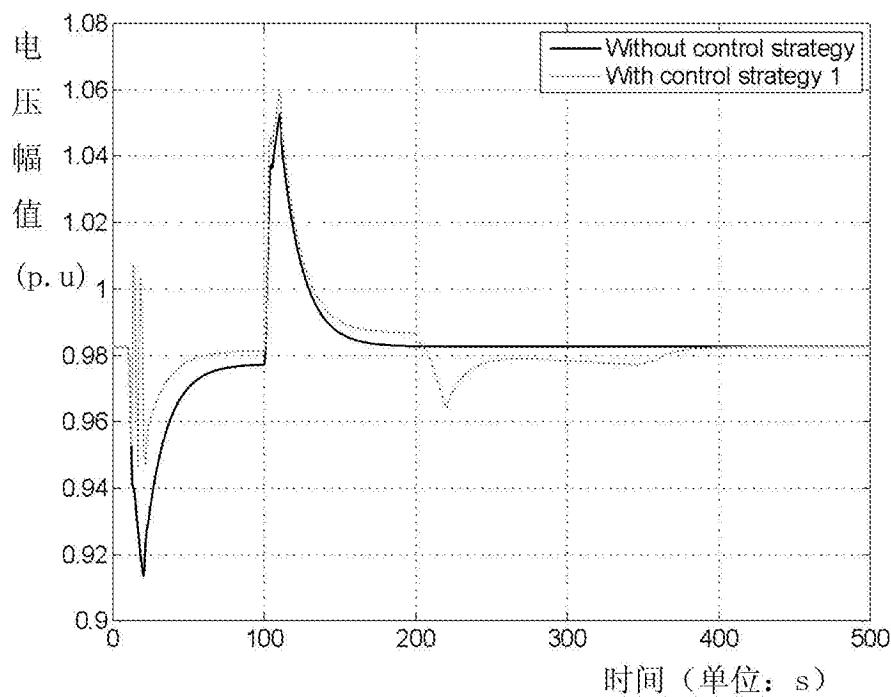


图9

