



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113011757 A

(43) 申请公布日 2021.06.22

(21) 申请号 202110321552.2

G06Q 30/06 (2012.01)

(22) 申请日 2021.03.25

G06Q 50/06 (2012.01)

(71) 申请人 国网浙江省电力有限公司

地址 310007 浙江省杭州市黄龙路8号

申请人 国网浙江省电力有限公司经济技术
研究院

(72) 发明人 丁伟斌 吴要毛 高峰 徐旻
胡嘉骅 朱佳 吴斌杰 陈俊逸
傅悦 马翔宇 周慧洁 朱毛

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务有限公
司 33200

代理人 贾玉霞

(51) Int.Cl.

G06Q 10/06 (2012.01)

G06Q 30/02 (2012.01)

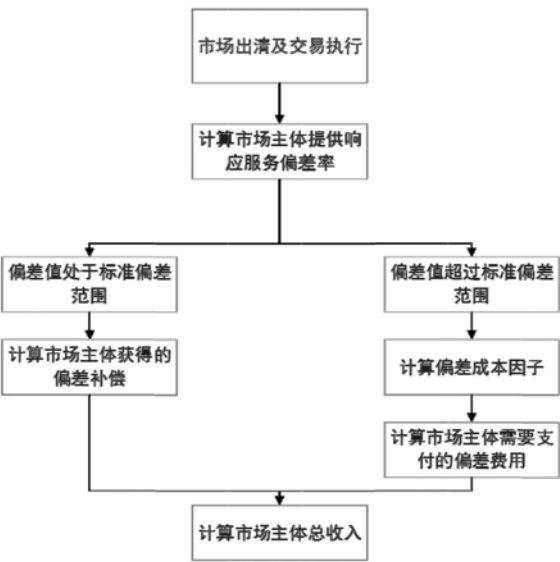
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种柔性负荷需求响应结算和激励分配方法

(57) 摘要

本发明公开了一种适应电力市场发展的柔性负荷需求响应结算和激励分配方法,该方法在传统的响应市场机制的基础上进行改进,提出考虑偏差率的结算模型与考虑市场主体服务质量的结算激励分配方法,摆脱了传统方法中不足以体现柔性负荷参与需求响应市场价值的弊端,刻画了市场主体提供需求响应服务的准确性,采用偏差费与补偿激励的方式鼓励市场酌情提供更多的需求响应服务。该方法有利于激励市场参与者在合理范围内提高应对能力,其他主体的偏差给整个电力系统运行造成的损失可能减少。根据市场选择适当参数,提升了偏差费与市场实际运行情况的一致性,有效反映其市场价值,与传统市场结算体系相比更适用于未来电力市场。



1. 一种柔性负荷需求响应结算和激励分配方法,其特征在于,该方法包括如下步骤:

(1) 通过下式计算每个市场主体提供的需求响应服务的偏差率指标

$$\eta_i = \frac{Q_i^{clear} - Q_i^{real}}{Q_i^{clear}} \quad (1)$$

其中, η_i 为偏差率指标,表示市场主体*i*提供的需求响应服务的准确性; Q_i^{clear} 、 Q_i^{real} 分别为市场主体*i*提供的中标电能量和实际执行的需求响应服务的电能量;

(2) 根据市场实际运行情况确定偏差成本因子

$$\delta_i = K_i \times \frac{Q_i^{real}}{Q_i^{clear}}$$

其中, K_i 为第*i*个市场主体的权重系数,与该市场主体的中标量正相关;

(3) 对于偏差率指标 η_i 不在标准偏差范围内的市场主体,则由该市场主体为受电方支付偏差费用 C_i^c ;否则,则由受电方为市场主体提供激励补偿 C_i^r ;

(4) 根据偏差费用 C_i^c 和激励补偿 C_i^r 计算每个市场主体获得的总收入 C_i 。

2. 根据权利要求1所述的柔性负荷需求响应结算和激励分配方法,其特征在于,所述的标准偏差范围为 $-0.2 \leq \eta_i \leq 0.1$ 。

3. 根据权利要求2所述的柔性负荷需求响应结算和激励分配方法,其特征在于,所述偏差费用 C_i^c 、激励补偿 C_i^r 、总收入 C_i 的计算公式如下:

$$C_i^c = \begin{cases} \frac{(0.9 \times Q_i^{clear} - Q_i^{real}) \times P^{clear}}{\delta_i}, & 0.1 < \eta \\ 0, & -0.2 \leq \eta \leq 0.1 \\ \frac{(Q_i^{real} - 1.2 \times Q_i^{clear}) \times P^{clear}}{\delta_i}, & \eta < -0.2 \end{cases}$$

$$C = \sum_{i \in S} C_i^c$$

$$C_i^r = C \times \frac{Q_i^{clear} - |Q_i^{clear} - Q_i^{real}|}{Q_i^{clear}} \times \frac{Q_i^{real}}{\sum_{i \in M} Q_i^{real}}$$

$$C_i = \begin{cases} 1.20 \times P^{clear} Q_i^{clear} - C_i^c, & \eta_i < -0.2 \\ P^{clear} Q_i^{real} + C_i^r, & -0.2 \leq \eta_i \leq 0.1 \\ P^{clear} Q_i^{clear} - C_i^c, & 0.1 < \eta_i \end{cases}$$

其中, C 表示所有的市场主体需要支付的偏差费用的总和, S 代表市场主体的集合, M 为需求响应服务在标准偏差范围 $-0.2 \leq \eta_i \leq 0.1$ 内的市场主体的集合。

一种柔性负荷需求响应结算和激励分配方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电气工程领域,尤其是涉及一种柔性负荷需求响应结算和激励分配方法。

背景技术

[0002] 需求响应市场是实施需求响应的场所,它为需求响应资源提供了与发电侧资源一起公平竞争的平台和规则,为终端用户消减负荷的价值实现提供了机会,促使用户和系统运行者对需求响应进行合理的规划与利用。需求响应市场设计原则是在电力市场基本原则的基础上,针对需求响应资源特性以及保证需求响应被实现而制定的。一般来说需求响应市场要根据响应特性进行分类,从而尽可能地让更多参与者进入市场,聚集足够多的需求侧资源。同时市场规则应该能够实现公平计算用户响应绩效,及时让用户得到收益以保证市场地持续可用性与竞争力。

[0003] 目前需求侧响应市场仍处于起步阶段,传统的需求响应结算方法主要针对传统的负荷市场主体,随着需求响应市场建设的大力推进,更多类型的市场主体参与其中,基于电力电子的设备为负荷精确控制提供了可能性。但柔性电力电子设备在负荷侧投入使用,使得大量负荷成为重要的柔性资源,基于柔性负荷的投资成本和运营策略相较传统负荷的投资成本和运营策略存在显著差异,以当前的市场结算体系不足以反应出柔性电力电子负荷参与需求响应市场的价值,不利于未来需求响应市场的健康发展。

发明内容

[0004] 针对现有技术的不足,本发明提出一种柔性负荷需求响应结算和激励分配方法,该方法在传统需求响应市场的基础上进行改进,引入了偏差率指标表示市场主体提供的需求响应服务的准确性,根据不同的偏差率定义不同的偏差费用计算方法,利用偏差成本因子间接调整不同偏差的偏差费用,对提供更多需求响应的市场主体提供适当补偿的原则,使得由于其他主体的偏差给整个电力系统运行造成的损失减小。

[0005] 本发明的目的通过如下的技术方案来实现:

[0006] 一种柔性负荷需求响应结算和激励分配方法,该方法包括如下步骤:

[0007] (1) 通过下式计算每个市场主体提供的需求响应服务的偏差率指标

$$[0008] \quad \eta_i = \frac{Q_i^{clear} - Q_i^{real}}{Q_i^{clear}} \quad (1)$$

[0009] 其中, η_i 为偏差率指标,表示市场主体i提供的需求响应服务的准确性; Q_i^{clear} 、 Q_i^{real} 分别为市场主体i提供的中标电能量和实际执行的需求响应服务的电能量;

[0010] (2) 根据市场实际运行情况确定偏差成本因子

$$[0011] \quad \delta_i = K_i \times \frac{Q_i^{real}}{Q_i^{clear}}$$

[0012] 其中, K_i 为第i个市场主体的权重系数,与该市场主体的中标量正相关;如果市场

主体i达到的中标量只有80%，则 δ_i 为K值的0.8倍。如果130%的中标量由市场主体i达到，则 δ_i 为K值的1.3倍。

[0013] (3) 对于偏差率指标 η_i 不在标准偏差范围内的市场主体，则由该市场主体为受电方支付偏差费用 C_i^c ；否则，则由受电方为市场主体提供激励补偿 C_i^r ；

[0014] (4) 根据偏差费用 C_i^c 和激励补偿 C_i^r 计算每个市场主体获得的总收入 C_i 。

[0015] 进一步地，所述的标准偏差范围为 $-0.2 \leq \eta_i \leq 0.1$ 。

[0016] 进一步地，所述偏差费用 C_i^c 、激励补偿 C_i^r 、总收入 C_i 的计算公式如下：

$$[0017] \quad C_i^c = \begin{cases} \frac{(0.9 \times Q_i^{\text{clear}} - Q_i^{\text{real}}) \times P^{\text{clear}}}{\delta_i}, & 0.1 < \eta \\ 0, & -0.2 \leq \eta \leq 0.1 \\ \frac{(Q_i^{\text{real}} - 1.2 \times Q_i^{\text{clear}}) \times P^{\text{clear}}}{\delta_i}, & \eta < -0.2 \end{cases}$$

$$[0018] \quad C = \sum_{i \in S} C_i^c$$

$$[0019] \quad C_i^r = C \times \frac{Q_i^{\text{clear}} - |Q_i^{\text{clear}} - Q_i^{\text{real}}|}{Q_i^{\text{clear}}} \times \frac{Q_i^{\text{real}}}{\sum_{i \in M} Q_i^{\text{real}}}$$

$$[0020] \quad C_i = \begin{cases} 1.20 \times P^{\text{clear}} Q_i^{\text{clear}} - C_i^c, & \eta_i < -0.2 \\ P^{\text{clear}} Q_i^{\text{real}} + C_i^r, & -0.2 \leq \eta_i \leq 0.1 \\ P^{\text{clear}} Q_i^{\text{clear}} - C_i^c, & 0.1 < \eta_i \end{cases}$$

[0021] 其中，C表示所有的市场主体需要支付的偏差费用的总和，S代表市场主体的集合，M为需求响应服务在标准偏差范围 $-0.2 \leq \eta_i \leq 0.1$ 内的市场主体的集合。具体来说，在 $[-0.1, 0.1]$ 偏差内提供需求响应服务的市场参与者具有相同的收益，无论偏差是正向还是负向。但是，当偏差 η_i 低于-0.1时，提供更多需求响应服务的市场主体将获得更多补偿。市场主体i被视为具有获得响应激励补偿资格的补偿主体，按实际贡献支付需求响应服务费。但当偏离度超过-0.2时，只计提需求响应服务费的120%，超出部分不予支付。此外，被视为偏差主体的单位应支付偏差费用。当偏差率指标超过0.1但在0.2以内时，该部分按实际执行的需求响应服务量支付。

[0022] 本发明的有益效果如下：

[0023] (1) 本发明的方法通过引入偏差率指标，刻画了市场主体提供需求响应服务的准确性，保证了市场主体的结算与实际情况相符合，灵活的电力电子负荷提供的准确响应价值被充分反映出来。

[0024] (2) 本发明三维方法能够实现考核与激励费用在需求响应市场内部分摊，进而有效地隔绝了因具有灵活调节特性的电力电子的柔性负荷参与市场而引发的资金风险。同时，本发明所提方法具有引导需求响应市场健康发展，促进市场中的需求响应服务质量不断提升。

附图说明

[0025] 图1为八个市场主体的偏差率指标的柱状图。

[0026] 图2为八个市场主体中的偏差费和补偿激励的分配的柱状图。

[0027] 图3为本发明所提结算体系的运行流程图。

具体实施方式

[0028] 下面根据附图和优选实施例详细描述本发明,本发明的目的和效果将变得更加明白,应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0029] 该实施例中八个市场主体具体包括:负荷集成商A,负荷集成商B,负荷集成商C,负荷集成商D,大型工业用户E,大型工业用户F,电化学储能商G和电化学储能商H。假设某试点地区的调度中心在需求响应市场中声明了7,000kWh的需求响应服务,并且K被定为1。且标准偏差范围定义为 $[-0.2, 0.1]$ 。这个范围是在浙江省电网运行需求侧响应评估标准的基础上设定的,其在满足电网运行规范的基础上,对柔性负荷的需求响应有个更严格的要求,更好第满足了需求响应市场结算过程中的购电方的需求。

[0030] 八个市场主体的声明价格和容量分别如表1所示。根据需求响应市场的清算规则,计算出清算结果。

[0031] 市场出清结果

	市场主体	申报量	出清价格	中标量	实际执行量
[0032]	负荷聚合商 A	1000	3.5	1000	820
	负荷聚合商 B	800	3.2	800	980
	负荷聚合商 C	1200	3.1	1200	1120
	负荷聚合商 D	2000	3.6	2000	1700
	大工业用户 E	700	3.7	700	672
[0033]	大工业用户 F	500	3.7	500	495
	储能商 G	500	3.8	200	200
	储能商 H	600	3.7	600	600

[0034] 之后,记录需求响应服务的实际执行量,并应用结算体系计算每个市场主体的收入。根据目前需求响应市场的市场清算方法,本案的出清价格为3.8元,详细的市场信息也如表1所示。

[0035] 如图2所示,市场主体A,B,C,D,E和F的偏离率指数为正,这意味着实际需求响应服务低于它们的中标量。另外,负荷聚合商B的偏差率指标为负,其偏差的绝对值最大。这意味着市场主体B提供的实际需求响应服务多于其所接受的投标,而其他市场主体提供的实际服务都要少于其接受的投标,且B接受的服务远大于其他市场出体提供的服务。

[0036] 表2显示了需求响应服务市场当前结算结果。可以看到,八个市场参与者提供的实际需求响应服务的准确性差异很大。但是,现有需求响应市场结算体系的结算结果不能为提供准确需求响应服务的市场主体提供有价值的区别。不同类型的市场主体的每千瓦时收入几乎相同,如果储能主体提供更好的服务,这将缺乏合理性。对于提供准确的需求响应服务的市场主体而言,这是相对不公平的。这意味着目前的需求响应市场几乎没有反映不同主体

提供的需求响应服务的价值差异。

[0037] 表2现有的结算方法结算结果

[0038]

市场主体	总收入	每kWh收入
负荷聚合商A	3116	3.80
负荷聚合商B	3648	3.72
负荷聚合商C	4256	3.80
负荷聚合商D	6460	3.80
大工业用户E	2553.6	3.80
大工业用户F	1881	3.80
储能商G	760	3.80
储能商H	2280	3.80

[0039] 将所提出的结算体系应用于同一案例,并计算每个市场主体的收入。如图3所示,偏差较小的市场主体可以获得补偿激励,而偏差较大的市场主体需要支付偏差费用。由前面定义可知,具有负偏差的需求相应市场主体其实际响应电量大于市场出清中标量,故具有负偏差的市场主体的收益大于具有正偏差的市场主体的收益。这意味着在需求响应相同的偏差下,负荷聚合商B需要支付的偏差费用较低。A负荷聚合商的正偏差率要大于D负荷聚合商,且均超过了0.1,因此对于A、D负荷聚合商的惩罚考核费用要远大于其他负荷商,同时A负荷聚合商的每千瓦收入费用也远低于D负荷聚合商。另外由于A、B和D负荷聚合商的偏差值超过了偏差固定的范围,市场不对超过偏差值的市场主体予以奖励,而是通过收取额外的考核费用进行惩罚,因此A、B、D负荷聚合商的每千瓦收入费用都低于原市场结算值。而其他市场主体都在一定程度上获得了激励,如图2的白色柱形所示。

[0040] 值得注意的是,所有补偿激励费仅来自偏离主体支付的偏离费,避免了与其他子市场耦合的资本风险。新的结算体系的结算结果如表3所示,各市场主体的收入分布与原始的市场结算体系相比具有显著差异,由于负荷聚合商A提供的实际需求响应服务量超出了中标量的120%限制,因此需要为超出部分支付偏差费用,进而导致每千瓦时的收入明显下降,从原结算结果的3.80/千瓦时下降到了3.35/千瓦时。此外,与原方法结算结果相比,B、D两个负荷聚合商也有不同程度的收入下降,下降程度与偏差度成正相关,这表明提供更高质量的需求响应服务的市场主体可以获得单位千瓦时更高的收入。相对比于B负荷聚合商,尽管其偏差值的绝对值是所有市场主体中最大的,但是其付出的考核费用却远低于A、D负荷聚合商。这是因为B负荷聚合商提供了远超过其投标需要的响应,市场给予了其一定量的补偿。而在偏差值范围内,市场其他主体的激励收入也与偏差值成正相关。储能与其他市场主体区分开来,具有较高的单位收入,这将激发储能商的积极性,从而更有利于储能加入市场。算例结果进一步验证了本发明所提出的结算体系对未来需求响应市场的发展的适应性和有效性。因此,与现有体系相比,本发明所提出的结算方法能够基于市场主体所提供优质服务价值,差异化区分市场主体的收入水平,有助于改善现有体系无法有效区分市场主体收入与埋没提供高质量需求响应服务市场主体价值的不足。

[0041] 表3本发明所提方法结算结果

[0042]

市场主体	总收入	每kWh收入
负荷聚合商A	2745.27	3.35

负荷聚合商B	3585.96	3.66
负荷聚合商C	4553.93	4.07
负荷聚合商D	6012.94	3.54
大工业用户E	2737.47	4.07
大工业用户F	2020.67	4.08
储能商G	817.00	4.09
储能商H	2451.01	4.09

[0043] 本领域普通技术人员可以理解,以上所述仅为发明的优选实例而已,并不用于限制发明,尽管参照前述实例对发明进行了详细的说明,对于本领域的技术人员来说,其依然可以对前述各实例记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换。凡在发明的精神和原则之内,所做的修改、等同替换等均应包含在发明的保护范围之内。

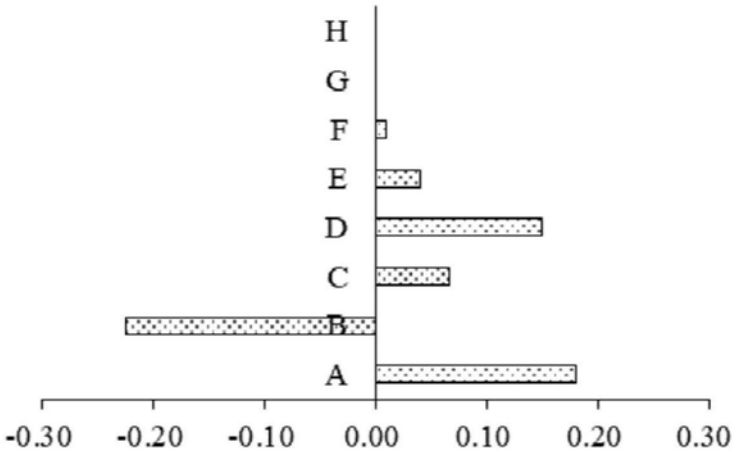


图1

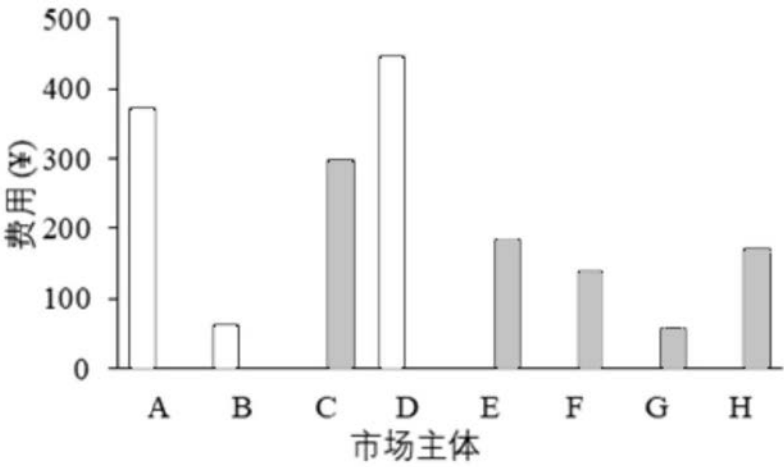


图2

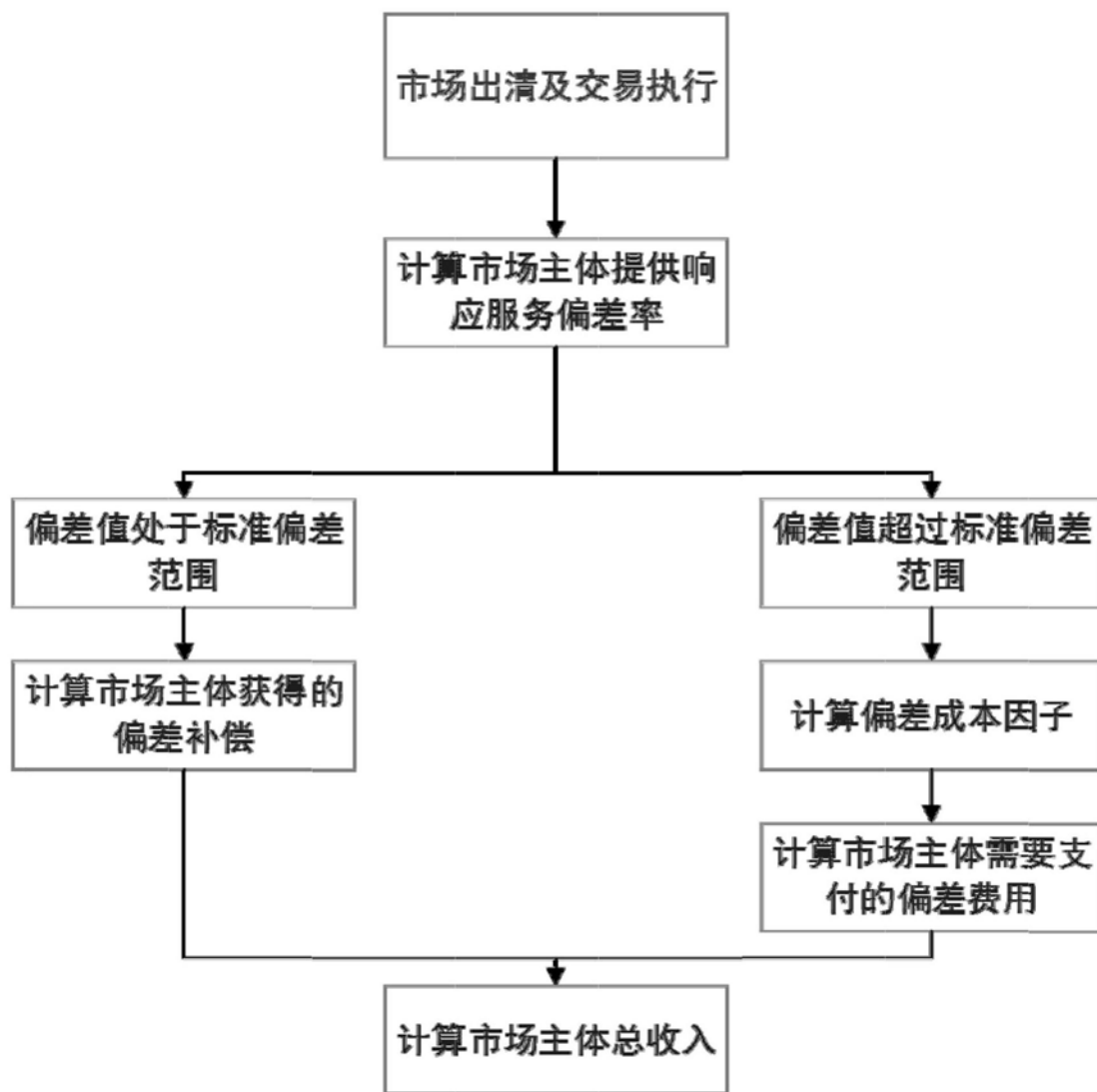


图3