

新型电力负荷资源响应性能量化评估指标体系研究

齐蓓^{1,2},余梦^{1,2},陈吴晓³,蔡雨晴³,祁继鹏⁴,黄梓欣⁴,张沛⁴

(1. 国网电力科学研究院有限公司,南京 210000;2. 武汉能效测评有限公司,武汉 430074;3. 国网福建省电力有限公司 营销服务中心,福州 350000;4. 北京交通大学,北京 100091)

摘要:随着能源和信息通信技术的快速发展,新型负荷资源参与运行控制已成为电网运行的重要成分。新型负荷资源的响应存在差异性和不确定性,准确地量化评估电网新型负荷资源的响应性能成为电网运行的重要任务。为此,在电网运行控制角度,建立了电网新型负荷资源需求响应性能评估体系,定义了反映响应及时性、响应准确性、响应可靠性和响应利用率的各项指标和计算方法,并通过示例,演示了需求响应各项响应性能指标的计算过程,通过对3种不同响应的响应性能指标的比较,验证了提出的响应性能量化评估指标符合响应性能的直观判断,还能提供更全面的评估信息,能够准确评估新型负荷资源的响应性能,为电网运行控制、需求响应的考核结算提供了依据。

关键词:电网运行;需求响应;响应性能指标;量化评估

Research on quantitative assessment index system of responsive performance for new power load resources

QI Bei^{1,2}, YU Meng^{1,2}, CHEN Wuxiao³, CAI Yuqing³, QI Jipeng⁴, HUANG Zixin⁴, ZHANG Pei⁴

(1. State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210000, China;2. Wuhan Efficiency Evaluation Company Limited, Wuhan 430074, China;3. Marketing Service Center, State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd., Fuzhou 350000, China;4. Beijing Jiaotong University, Beijing 100091, China)

Abstract: With the rapid development of energy and information communication technology, the participation of novel demand resources in system operation and control has become an important part of grid operation. Due to the inherited differences and uncertainties of demand response, accurately quantifying the response performance of demand response resources has become the important tasks of grid operation. For this a demand response performance evaluation system is established from the perspective of power system operation and control, defines various indicators to assess the timeliness, accuracy, reliability and utilization of demand response and provides corresponding calculation methods. An example demand response case is used to demonstrate how to calculate the performance indicators quantitatively. Through comparison of the response performance indicators of three different responses, it is verified that the proposed quantitative evaluation indicators of response performance conform to the intuitive judgment of response performance and also provide more comprehensive evaluation information. The response performance indicators can accurately evaluate the response performance of novel demand response resources, and provide the basis for system operations, settlements and compliance.

Key words: grid operation; demand response; response performance indicator; quantitative evaluation

0 引言

随着可再生能源的快速发展和电网运行技术的进步,电网新型负荷资源在新型电力系统的运行控制中的作用日益凸显,对于促进提高新型电力系统的安全可靠、资源优化和互动运行具有重要意义。分布式能源技术、信息技术和通信技术的快速

发展,大幅改变了传统电网需求侧负荷的构成和特性,以数据中心、5G基站、分布式储能、电动汽车充放电和电制氢为代表的新型负荷持续增长,温控负荷、新型负荷资源具有响应速度快、调节潜力大、可控性高等特点,构成了电网负荷的重要组成部分。与此同时,电力需求响应的应用用户用电弹性潜力可以得到利用,帮助电网运行实现平衡负荷波动、消纳可再生能源发电、降低运行成本和提高运行安全^[1]。

电力需求响应的效益评估是一个广泛关注的问题,IEEE在2016年发布了相应的标准^[2],主要面

收稿日期:2024-05-10;修回日期:2024-06-26

基金项目:国家电网有限公司总部管理科技项目(5400-202321245A-1-1-ZN)

向需求响应的整体效益进行评估,比如峰值消减量、能量消减量、参与率、不满意度、成本效益风险、可靠性改善、环境影响等。许多研究和实践也针对需求响应效益在不同维度提出了相应的评估方法。文献[3]应用系统动力学方法对需求响应的综合效益进行了分析;文献[4]水泥厂参与需求响应的含风电电力系统环境经济调度模型;文献[5]则是计及需求响应资源的多场景电力需求响应的多利益主体的效益进行了评价;文献[6]提出了一种针对高比例可再生能源系统的源荷储协调优化方法。文献[7]运用模糊层析分析方法,对区域级的需求侧管理工作开展了综合评价;文献[8]和文献[9]分别运用组合赋权与云模型相结合的评价方法和系统动力学方法,对综合能源系统的需求响应效益和对需求侧资源效用进行了综合评价。经济效益、环境效益、可靠性改善等是评估的主要内容,但目前的研究缺乏针对个体需求响应资源的具体响应性能的评估。对于电网运行来说,大量需求响应资源,可以为电网提供大量可调节资源,但同时也会给电网运行带来许多不确定性,缺乏有效监控和管理的无序响应会降低电网运行控制的准确性,甚至影响电网运行的安全,因此准确量化评估需求响应的响应性能具有重要的意义。

本文面向电网运行控制,首先阐述了量化评估新型负荷资源的响应性能的指标体系,然后针对新型负荷需求响应的动态响应过程,定义了响应性能评估指标,并给出了相应的指标计算方法,接着通过新型负荷需求响应示例,示范了如何针对实际需求响应过程进行响应性能计算,并分析了结果的准确性,最后对本文进行了总结。

1 需求响应性能量化评估体系

新型负荷资源参与电网运行调度是通过电网运行调度指令的响应而改变用电水平的一个互动过程,表现为响应电网调控指令的动态过程和响应参与情况。因此,全面准确地评估新型负荷资源的响应性能既要评估其响应电网调控需求响应指令的动态过程,又要评估其响应参与情况。图1显示的是3层结构的综合响应性能评估结构图。

综合响应性能指标中响应及时性和响应准确性是对响应的动态过程的评估,响应延迟指标、响应到达指标和响应终止指标都是面向响应时间偏差的评估,功率准确性、电量准确性和功率偏差指标都是面向响应稳态偏差的评估,响应可靠性和响应利用率则是对响应的参与情况的评估。

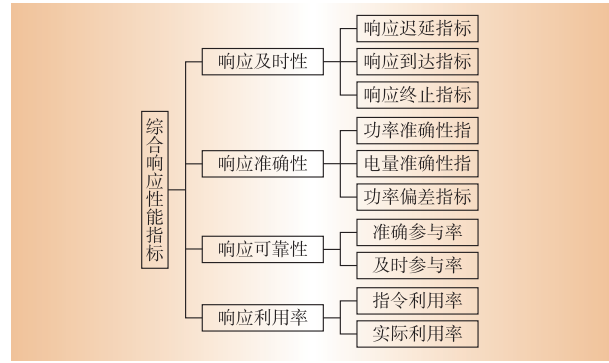


图1 需求响应性能评估层次结构

Fig. 1 Demand response performance evaluation hierarchy structure

2 需求响应性能指标定义

需求响应是指需求侧资源可根据电网运行的调控计划指令来改变用电需求。如图2(a)所示需求响应指令,包括:

需求响应起始时间 T_0 是指新型负荷资源接收到需求响应指令的时间。

需求响应终止时间 T_2 是指停止需求响应指令时间。

需求响应指令时长 T_R 是指需求响应指令的持续时间, $T_R = T_2 - T_0$ 。

响应初始运行功率 P_0 是指接收需求响应指令前电力需求功率。

响应目标运行功率 P_1 是指需求响应指令要求达到的电力需求功率。

需求响应指令功率 P_R 是指需求响应指令要求新型负荷资源从当前用电位置应减少的用电需求功率量, $P_R = P_0 - P_1$ 。

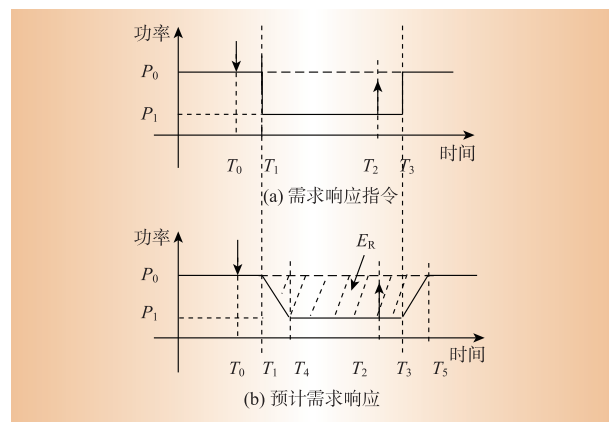


图2 需求响应指令和预计响应

Fig. 2 Demand response instruction and expected response curve

需求响应资源的响应特性决定了响应资源接

收到响应指令后的功率改变的动态过程,主要包括需求响应时延、需求响应速率、需求响应能力。

需求响应时延 T_d 是指新型负荷资源在接收到需求响应指令(即需求响应起始时间 T_0)到实际开始减少用电需求(T_1)所需的时间。

需求响应速率 R_R 是指新型负荷资源在单位时间可以减少的用电需求量。

需求响应能力 C_R 是指新型负荷资源可提供响应的最大容量。

根据需求响应资源的响应特性,可以计算出对应需求响应指令的预计需求响应曲线,如图2(b)所示。图2中相关参数如下。

响应恢复用电时间 T_3 :新型负荷资源预计开始恢复正常用电的时间, $T_3 = T_2 + T_d$ 。

响应指令功率到达时间 T_4 :新型负荷资源需求功率减少到所述需求响应指令要求达到目标功率 P_1 的时间, $T_4 = T_1 + P_R/R_R$ 。

响应资源完全恢复用电时间 T_5 :新型负荷资源需求功率恢复到所述需求响应指令前初始功率的时间, $T_5 = T_3 + P_R/R_R$ 。

响应指令电量 E_R :新型负荷资源在需求响应指令时段预计减少消耗的电量, $E_R = P_R T_R$ 。

新型负荷资源在接收到电网调度运行发布的需求响应指令后开始执行响应指令,改变用电需求,直到响应指令终止开始恢复用电,假设其实际功率曲线如图3中曲线所示。则定义以下参数:

有效需求响应电量 E_{RA} 是指在指令响应时段的新型负荷资源实际减少的用电量,即在时段 T_1 和 T_5 之间实际响应曲线中从 P_1 至 P_0 所夹面积。

有效需求响应功率 P_{RA} 是指有效需求响应电量在需求响应指令时段等效反应的功率,即 $P_{RA} = E_{RA}/T_R$ 。如果 $P_{RA} > P_R$,则 $P_{RA} = P_R$ 。

有效需求响应功率达到时间 T_{4A} 是指指令响应时段中新型负荷资源首次达到有效需求响应功率的时间,即实际响应功率曲线首次达到 $P_{1A} = P_0 - P_{RA}$ 的时间,若 $P_{1A} \geq P_0$,则指新型负荷资源在指令响应时段没有响应需求响应指令,设 $T_{4A} = T_R$ 。

有效需求响应功率终止时间 T_{3A} 是指在指令响应时段内新型负荷资源在最后不低于有效需求响应功率 P_{1A} 的时间,即实际响应功率曲线最后达到 $P_{1A} = P_0 - P_{RA}$ 的时间,若 $P_{1A} \leq P_0$,则指新型负荷资源持续响应需求响应指令,设 $T_{3A} = T_5$ 。

最大需求响应功率偏差 P_{RX} 是指在指令响应时段实际响应功率曲线与预计响应功率曲线的最大偏差,即在时段 T_1 和 T_5 之间实际响应曲线从 P_1 至

P_0 所有采样点之功率偏差的最大值。

在上面参数定义和计算的基础上,可以计算需求响应资源的响应性能指标。

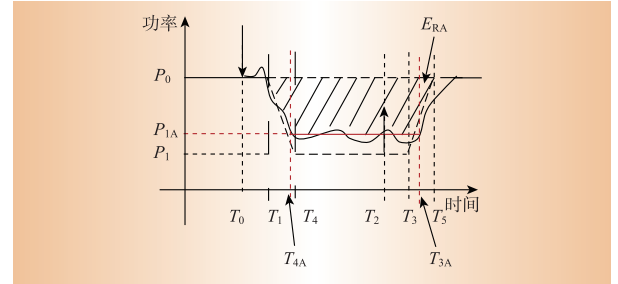


图3 需求响应指令和预计响应曲线

Fig. 3 Demand response instructions and expected response curves

新型负荷需求响应性能指标包括响应及时性指标 P_{LT} 、响应准确性指标 P_{LP} 、响应可靠性指标 P_{LN} 、响应利用率指标 P_{LC} 。

响应及时性指标 P_{LT} 反映了新型负荷资源响应需求响应指令时间的偏差,由响应延迟指标 P_{LT_d} 、响应到达指标 P_{LT_4} 和响应终止指标 P_{LT_3} 构成。

响应延迟指标 P_{LT_d} 由需求响应时延 T_d 与需求响应指令时长 T_R 确定

$$P_{LT_d} = \min(\max(T_d/T_R, 0), 1) \quad (1)$$

式中: P_{LT_d} 取值范围 0~1.0, 值越小说明响应启动越及时,其统计指标为在给定时间内所有响应事件的 P_{LT_d} 平均值。

响应到达指标 P_{LT_4} 由有效需求响应功率达到时间 T_{4A} 与需求响应指令时长 T_R 确定

$$P_{LT_4} = (T_{4A} - T_0)/T_R \quad (2)$$

式中: P_{LT_4} 取值范围 0~1.0, 值越小说明越快速达到有效需求响应功率,其统计指标为在给定时间内所有响应事件的 P_{LT_4} 平均值。

响应终止指标 P_{LT_3} 由新型负荷资源开始恢复正常用电的时间 T_3 、有效需求响应功率终止时间 T_{3A} 与需求响应指令时长 T_R 确定

$$P_{LT_3} = \min(\max((T_3 - T_{3A})/T_R, 0), 1) \quad (3)$$

式中: P_{LT_3} 取值范围 0~1.0, 值越小说明提前终止响应时间偏差越小,其统计指标为在给定时间内所有响应事件的 P_{LT_3} 平均值。

响应及时性指标 P_{LT} 由响应延迟指标 P_{LT_d} 、响应到达指标 P_{LT_4} 和响应终止指标 P_{LT_3} 加权求和得到,如下所示

$$P_{LT} = \alpha_1 P_{LT_d} + \alpha_2 P_{LT_4} + \alpha_3 P_{LT_3} \quad (4)$$

$$0 \leq \alpha_1 \leq 1, 0 \leq \alpha_2 \leq 1, 0 \leq \alpha_3 \leq 1, \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$$

式中： P_{LT} 取值范围0~1.0,值小说明响应越及时。

响应准确性指标 P_{LP} 反映了新型负荷资源响应指令响应量的偏差,由功率准确性指标 P_{LP_R} , 电量准确性指标 P_{LE_R} 和功率偏差指标 $P_{LP_{RX}}$ 构成。

功率准确性指标 P_{LP_R} 由有效需求响应功率 P_{RA} 与需求响应指令功率 P_R 确定

$$P_{LP_R} = 1 - \min(\max(P_{RA}/P_R, 0), 1) \quad (5)$$

式中： P_{LP_R} 取值范围0~1.0,值小说明功率响应越准确,其统计指标为在给定时间内所有响应事件的 P_{LP_R} 平均值。

电量准确性指标 P_{LE_R} 由有效需求响应电量 E_{RA} 与需求响应指令电量 E_R 确定

$$P_{LE_R} = 1 - \min(\max(E_{RA}/E_R, 0), 1) \quad (6)$$

式中： P_{LE_R} 取值范围0~1.0,值小说明电量响应越准确,其统计指标为在给定时间内所有响应事件的 P_{LE_R} 平均值。

功率偏差指标 $P_{LP_{RX}}$ 由最大需求响应功率偏差 P_{RX} 与需求响应指令功率 P_R 确定

$$P_{LP_{RX}} = \min(P_{RX}/P_R, 1) \quad (7)$$

式中： $P_{LP_{RX}}$ 取值范围0~1.0,值小说明功率偏差越小,功率响应越准确,其统计指标为在给定时间内所有响应事件的 $P_{LP_{RX}}$ 平均值。

响应准确性指标 P_{LP} 由功率准确性指标 P_{LP_R} 、电量准确性指标 P_{LE_R} 、功率偏差指标 $P_{LP_{RX}}$ 加权求和得到,如下所示

$$P_{LP} = \beta_1 P_{LP_R} + \beta_2 P_{LE_R} + \beta_3 P_{LP_{RX}} \quad (8)$$

式中： P_{LP} 取值范围0~1.0,值小说明响应量偏差越小。

响应可靠性指标 P_{LN} 反映了新型负荷资源响应指令的可靠性,由准确参与率 P_{LN_p} 、及时参与率 P_{LN_t} 构成。这里首先定义如下。

准确参与是指新型负荷资源响应需求响应指令的有效需求响应功率与需求响应指令功率比 (P_{RA}/P_R) 不低于给定参数(比如75%),并且最大需求响应功率偏差与需求响应指令功率比 (P_{RX}/P_R) 不高于给定参数(比如10%)。

及时参与是指新型负荷资源响应需求响应指令的有效需求响应功率与需求响应指令功率比 (P_{RA}/P_R) 不低于给定参数(比如75%),并且响应到达有效需求响应功率的时间与需求响应时长的比 ($(T_{4A} - T_0)/T_R$) 不高于给定参数(比如25%)。

总需求响应次数 N_R 是指在给定时间 T 内电网运行向新型负荷资源发出需求响应指令的次数。

准确参与次数 N_p 是指在给定时间 T 内,新型负荷资源准确参与需求响应指令的次数。

及时参与次数 N_t 是指在给定时间 T 内,新型负荷资源及时参与需求响应指令的次数。

准确参与率 P_{LN_p} 由准确参与次数 N_p 与总需求响应次数 N_R 确定,计算公式如下

$$P_{LN_p} = N_p/N_R \quad (9)$$

式中： P_{LN_p} 取值范围0~1.0,值越大说明准确参与比例越高。

响应可靠性指标 P_{LN} 由准确参与率 P_{LN_p} 、及时参与率 P_{LN_t} 确定,如下所示

$$P_{LN} = P_{LN_p} P_{LN_t} \quad (10)$$

式中： P_{LN} 取值范围0~1.0,越大说明可靠性越好。

响应利用率指标 P_{LC} 反映了新型负荷资源响应能力在实际电网运行中的利用情况,由指令利用率 P_{LC_R} 与实际利用率 P_{LC_A} 构成。

指令利用率 P_{LC_R} 由需求响应指令功率 P_R 与需求响应能力 C_R 确定,计算公式如下

$$P_{LC_R} = P_R/C_R \quad (11)$$

式中： P_{LC_R} 取值范围0~1.0,值小说明调度运行的功率利用率越低,其统计指标为在给定时间内所有响应事件的 P_{LC_R} 平均值。

实际利用率 P_{LC_A} 由有效需求响应功率 P_{RA} 与需求响应能力 C_R 确定,计算公式如下

$$P_{LC_A} = P_{RA}/C_R \quad (12)$$

式中： P_{LC_A} 取值范围0~1.0,值小说明资源响应能力的实际利用率越低,其统计指标为在给定时间内所有响应事件的 P_{LC_A} 平均值。

响应利用率指标 P_{LC} 由指令利用率 P_{LC_R} 与实际利用率 P_{LC_A} 加权求和得到,如下所示

$$P_{LC} = \mu_1 P_{LC_R} + \mu_2 P_{LC_A} \quad (13)$$

$$0 \leq \mu_1 \leq 1, 0 \leq \mu_2 \leq 1, \mu_1 + \mu_2 = 1$$

式中： P_{LC} 取值范围0~1.0,值越大说明响应利用率越高。

用户可以根据实际应用定义对应不同指标的权重因子来考虑不同指标的相对重要性,将响应及时性指标 P_{LT} 、响应准确性指标 P_{LP} 、响应可靠性指标 P_{LN} 、响应利用率指标 P_{LC} 加权计算得到综合响应性能指标 P_{LIR}

$$P_{LIR} = 1 - \omega_1 P_{LT} + \omega_2 P_{LP} + \omega_3 (1 - P_{LN}) + \omega_4 (1 - P_{LC})$$

$$0 \leq \omega_1 \leq 1, 0 \leq \omega_2 \leq 1, 0 \leq \omega_3 \leq 1, 0 \leq \omega_4 \leq 1, \quad (14)$$

$$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 = 1$$

式中： P_{LIR} 取值范围0~1.0,值小说明新型负荷资源响应性能越不好。

总结上述新型负荷资源综合响应性能评估指标与量化计算方法,具有以下特点:

(1) 该方法从电网运行控制角度来评估新型负荷资源参与电网运行控制的响应情况,既针对资源的动态响应过程,也针对资源的参与情况。

(2) 该方法对所有性能指标进行了标么化处理,量化的指标可为电网运行人员在调度控制和结算提供可比较、可操作的依据。

(3) 该方法对新型负荷资源响应全过程进行评估,响应及时性评估不仅针对响应启动的快速性,还针对响应提前终止的影响;响应准确性评估针对响应全过程的有效响应功率和电量;响应利用率评估不仅评估资源的响应,也评估电网运行调控的利用;响应可靠性评估考虑了新兴负荷资源的参与响应的准确性和及时性,不是简单计算是否参与次数。

(4) 该方法在指标计算中不是采用简单线性计算,而是采用最大最小方法设置有利于电网运行控制的饱和指标值,比如响应功率最大偏差的指标计算,当响应实际运行功率高于响应指令目标功率时,正常计算功率偏差,而当响应实际运行功率低于响应指令目标功率时,则按照偏差功率为0计算。这样处理对电网运行有利,同时避免某项评估过度响应而影响综合性能指标。

3 响应性能量化评估计算示例

假设有一个新型负荷资源,其响应能力20 kW,计算出该新型负荷资源的需求响应指令相关的时间参数和物理参数,如表1所示。

表1 需求响应指令时间和物理参数取值

Table 1 Values of temporal and physical parameters of demand response instruction

时间参数名称	参数值	物理参数名称	参数值
响应起始时刻 T_0 / min	10	响应初始运行功率 P_0 / kW	100
响应延迟时间 T_d / min	2	响应目标运行功率 P_i / kW	80
响应持续时间 T_R / min	30	需求响应指令功率 P_R / kW	20
响应开始减少功率时间 T_1 / min	12	需求响应速率 R_R / (kW·min ⁻¹)	5
响应终止时间 T_2 / min	40	需求响应能力 C_R / kW	20
响应恢复用电时间 T_3 / min	42	响应指令电量 E_R / kWh	10
响应指令功率到达时间 T_4 / min	16		
响应完全恢复用电时间 T_5 / min	46		

假设该资源接收到需求响应指令后,可能存在

有3种响应情况,对应3条不同的响应曲线。对应的响应指令、预计响应的功率变化曲线和3种响应的实际功率变化曲线如图4所示。

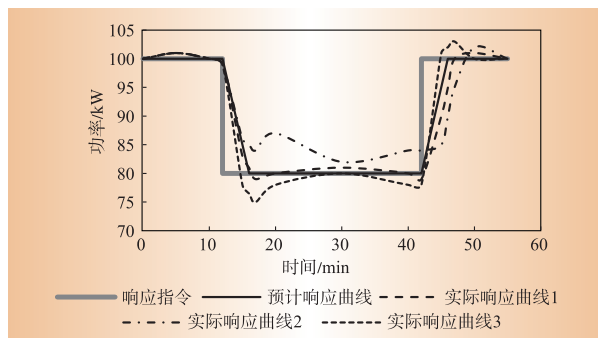


图4 需求响应指令和响应曲线示例

Fig. 4 Demand response instruction and response curves example

按照上文所述方法,可以计算出对应实际响应曲线的有效响应参数,如表2所示。

表2 需求响应实际响应参数取值

Table 2 Effective values of actual response parameters

实际响应参数值	响应1	响应2	响应3
有效需求响应电量 E_{RA} / kWh	10.00	8.55	10.00
有效需求响应功率 P_{RA} / kW	20.00	17.10	20.00
有效需求响应到达功率 P_{1A} / kW	79.58	82.90	78.43
有效需求响应功率达到时间 T_{4A} / min	16.50	28.20	14.91
有效需求响应功率终止时间 T_{3A} / min	40.00	34.50	40.00

在上文中指出,当有效需求响应电量超过响应指令电量,则将有效需求响应电量设置成响应指令电量。有效需求响应功率超过了响应指令功率时,则将有效需求响应功率设置成响应指令功率,然后求出对应的 T_{3A} 和 T_{4A} 。如表2所示响应1和响应3的有效需求响应电量和有效需求响应功率。

按照前文所述指标计算公式,可以计算各类响应指标。取权重系数 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1/3$, $\beta_1 = \beta_2 + \beta_3 = 1/3$, $\mu_1 = \mu_2 = 1/2$, $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = 1/4$ 可以获得3种响应的各项响应性能指标如表3所列。

根据图4所示,直观比较3种响应,响应1与预计响应曲线的偏差最小,响应2功率减少速度慢,也没有达到响应指令要求功率,响应3响应速度快但是过调较多,可以得出结论,响应1的响应性能最好,响应2的响应性能最差。

表3列出了需求响应的响应性能各项指标。表3中的综合响应性能指标数据反应的结果与定性比

表3 响应性能指标计算结果

Table 3 Calculated values of response performance indices

指标	响应1	响应2	响应3
响应延迟指标 $P_{L_{T_d}}$	0.067	0.067	0.067
响应终止指标 $P_{L_{T_3}}$	0.067	0.250	0.067
响应到达指标 $P_{L_{T_d}}$	0.217	0.607	0.164
响应及时性指标 $P_{L_{T_t}}$	0.117	0.308	0.099
功率准确性指标 $P_{L_{P_R}}$	0	0.145	0
电量准确性指标 $P_{L_{E_R}}$	0	0.145	0
功率偏差指标 $P_{L_{P_{RX}}}$	0.013	0.100	0.063
响应准确性指标 P_{L_P}	0.004	0.130	0.021
参与准确率 $P_{L_{N_P}}$	1.000	1.000	1.000
参与及时率 $P_{L_{N_T}}$	1.000	0	1.000
响应可靠性指标 P_{L_N}	1.000	0	1.000
指令利用率 $P_{L_{C_R}}$	1.000	0.855	1.000
实际利用率 $P_{L_{C_A}}$	1.000	1.000	1.000
响应利用率指标 P_{L_C}	1.000	0.928	1.000
综合响应性能指标 P_{L_R}	0.968	0.630	0.960

较结论一致。表3给出的量化指标,则更准确的反应了不同响应的响应性能差距,分项响应性能指标则给出了每个响应在哪个方面存在差距。观察表3中指标数据,可以看出:在响应及时性方面,响应3的响应及时性指标值最小,表示响应3达到响应指令的时间偏差最小,在响应及时性方面表现最好;在响应准确性方面,响应1的准确性指标值最小,表示响应1与响应指令的目标功率和电能方面的要求偏差最小,在响应准确性方面表现最好;在响应利用率方面,响应2响应利用率指标取值最小,说明响应2的响应利用率方面表现最差。从分指标可以看出3个响应在响应性能不同侧面表现不同的响应性能,综合响应性能则提供了一个整体的性能评估指标,根据示例设定的指标权重系数,可以看出响应1响应性能最好,响应2的响应性能最差。

4 结束语

快速新型负荷资源参与电网运行控制是新型电力系统运行控制的重要组成部分。准确评估新型负荷资源的响应性能对于电网运行控制具有重要意义。本文构建了新型负荷资源响应性能评估体系,从电网运行角度,定义了需求响应性能评估指标,并提出了相应的指标计算方法。本文也通过示例,对不同响应的响应性能指标进行了量化评估,结果显示在合理设计的评估体系下,量化的响应性能指标不仅符合对响应性能的直观判断,还能提供更全面的评估信息,准确评估新型负荷资源的响应性能,为

电网运行控制、需求响应的考核结算提供了依据。D

参考文献:

- [1] 马洪涛,王成山. 电力需求响应研究综述[J]. 电力系统自动化,2016,40(1):1-9.
MA Hongtao, WANG Chengshan. A review of research on electricity demand response [J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(1):1-9.
- [2] IEEE Std, IEEE guide for the benefit evaluation of electric power grid customer demand response- IEEE Std2030.6 [S]. December 16, 1-42, 2016.
- [3] TAN J J, WANG B B, LI Y, Application of system dynamics on comprehensive benefits valuation of demand response [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 13(10), 128-134.
- [4] 韩刚,黎雄,徐箭,等. 计及需求响应下典型工业负荷排放特性的环境经济调度[J]. 电力系统自动化, 2023,47(8):109-119.
HAN Gang, LI Xiong, XU Jian, et al. Environmental and economic dispatch considering emission characteristics of typical industrial loads under demand response [J]. Automation of Electric Power Systems, 2023, 47 (8) : 109-119.
- [5] HUANG H Y, SONG D M, HAO W J, et al. Multi-stakeholder benefit evaluation of multiple scenarios power demand response considering regional demand- side resource access [J]. SSRN, April 15, 2022.
- [6] 方必武,范展滔,王科,颜融,王凯. 考虑储能荷电越限的高比例可再生能源系统的源荷储协调优化[J]. 供用电,2024,41(7):92-98
FANG Biwu, FAN Zhantao, WANG Ke, YAN Rong, WANG Kai. Coordinated Optimization of Generation-Load-Storage Considering Energy Storage Charge-Discharge Limits in High Penetration Renewable Energy Systems [J]. Power Supply and Demand, 2024, 41 (7) : 92-98.
- [7] 屈小妹,付康,龙青春. 基于改进模糊层次分析法的电力需求侧管理效益综合评价[J]. 湖北师范大学学报(自然科学版). 2019,39(4),1-9.
QU Xiaomei, FU Kang, LONG Qingchun. Comprehensive evaluation of power demand side management benefits based on improved fuzzy analytic hierarchy process [J]. Journal of Hubei Normal University (Natural Science Edition) 2019, 39(4), 1-9.
- [8] 盛四清,张佳欣,李然. 基于组合赋权与灰云模型的综合能源系统需求响应效益评价[J]. 华北电力大学学报(自然科学版),2024,51(2):41-54.
SHENG Siqing, ZHANG Jiaxin, LI Ran. Comprehensive energy system demand response benefit evaluation based on combination weighting and grey cloud model [J]. Journal of North China Electric Power University (Natural Science Edition), 2024, 51(2):41-54.
- [9] 吴杨,许立雄,闫占新. 基于系统动力学双特性需求侧资源效用评价机制研究[J]. 电力与能源,2019, 40(2),113-119.
WU Yang, XU Lixiong, YAN Zhanxin. Research on the dual characteristic demand side resource utility evaluation mechanism based on system dynamics [J]. Electricity and Energy, 2019, 40(2), 113-119.

作者简介:

齐蓓(1988),女,湖北咸宁人,硕士,高级工程师,从事需求响应、能效评估、综合能源等方向科技研发工作。

(责任编辑 王 蕊)