

基于需求侧响应的微电网市场优化模型

葛善起

国网河北省电力有限公司晋州市供电分公司

摘要: 随着能源需求的不断增长和全球环境问题的日益严峻,微电网作为一种新兴的能源供应模式,受到了广泛关注。微电网的特点在于其具有分散化、可再生能源利用和灵活性等优势,能够更好地满足用户的能源需求,并提供更可靠、高效的能源服务。然而在微电网市场中,由于能源供给予需求之间的不匹配以及价格波动等因素的存在,如何实现市场的优化运行成为一个重要的问题。当前,微电网市场优化模型主要集中在供给侧响应方面,即通过调整能源供给端的产量和价格来实现市场的平衡,这种模型往往忽视了需求侧的潜力和灵活性,无法充分发挥用户的积极参与和能源消费的弹性调节能力。因此,基于需求侧响应的微电网市场优化模型的研究变得尤为重要。

关键词: 需求侧响应; 微电网; 市场优化; 模型

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6288.2023.10.087

引言

微电网是一种将分布式能源资源与传统电网相结合的能源供应系统,它通过将可再生能源、储能设备和能源管理系统等集成起来,实现了能源的高效利用和灵活调度。与传统的中央化电网相比,微电网具有更高的可靠性、可持续性和灵活性,能够更好地满足用户的能源需求。

一、需求侧响应在微电网市场中的应用

第一,应用于负荷平衡。微电网中的负荷波动较大,尤其是可再生能源的不稳定性导致负荷的波动更加明显。需求侧响应可以通过调整能源消费行为,平衡供需之间的差异,减少对传统电网的依赖,提高微电网的自给自足能力。第二,应用于峰谷填平。电力市场中存在高峰期和低谷期,高峰期的电力需求较大,低谷期的电力供给较充足。需求侧响应可以通过在高峰期降低能源消耗,在低谷期增加能源消耗,将电力需求和供给平衡,减少能源的浪费。第三,应用于可再生能源消纳。微电网中常常使用可再生能源,如太阳能和风能等。然而,可再生能源的供给不稳定,需求侧响应可以通过调整能源消耗行为,消化多余的可再生能源,避免浪费。第四,应用于能源成本优化。通过需求侧响应,用户可以根据市场价格的波动,选择在低价时段增加能源消耗,从而降低能源成本。这对于商业用户和工业用户来说尤为重要,可以帮助他们降低运营成本,提高竞争力。第五,应用于灾害应对。在自然灾害等紧急情况下,传统电网可能会中断供电。而微电网中的需求侧响应可以通过调整能源消耗行为,提供临时的能源支持,满足紧急需求。需求侧响应的应用可以提高微电网的能

源利用效率,降低能源成本,提高可再生能源的消纳能力,增强微电网的可靠性和韧性。

二、微电网市场参与方及其行为建模

(一) 用户行为建模

一是负荷需求模型。负荷需求模型是对用户能源需求的数学描述。它可以基于历史数据、用户特征和负荷预测模型来建立。负荷需求模型可以预测用户在不同时间段的能源需求量。二是能源消耗行为模型。能源消耗行为模型描述了用户在不同时间段的能源消耗行为。它可以基于用户的行为习惯、能源价格和供需情况来建立。能源消耗行为模型可以预测用户在不同能源价格和供需情况下的能源消耗量。三是决策模型。决策模型描述了用户在不同能源价格和供需情况下的决策行为。它可以基于用户的经济利益和能源需求来建立。决策模型可以预测用户在不同能源价格和供需情况下的能源消耗调整决策,例如在低价时段增加能源消耗或在高价时段减少能源消耗。

(二) 能源供应商行为建模

第一,能源生产策略模型。能源生产策略模型描述了供应商在不同时间段的能源生产决策。它可以基于能源生产成本、可再生能源可用性和市场需求来建立。能源生产策略模型可以预测供应商在不同时间段产生多少能源。第二,能源销售策略模型。能源销售策略模型描述了供应商在不同市场条件下的能源销售决策。它可以基于能源价格、市场需求和竞争情况来建立。能源销售策略模型可以预测供应商在不同市场条件下的能源销售量和价格。第三,能源调度模型。能源调度模型描述了供应商在不同时间段的能源调度决策。它可以基于供需

情况、市场需求和能源生产能力来建立，能源调度模型可以预测供应商在不同时间段将多少能源供应给用户或向传统电网出售。

（三）调度中心行为建模

一是能源调度决策模型。能源调度决策模型描述了调度中心在不同时间段的能源调度决策。它可以基于能源供需情况、用户需求和供应商能力来建立。能源调度决策模型可以预测调度中心在不同时间段如何分配和调度能源供应和需求。二是能源调度算法模型。能源调度算法模型描述了调度中心使用的调度算法和优化方法。它可以基于能源供需情况、能源价格和用户需求来建立。能源调度算法模型可以预测调度中心如何使用算法和方法来实现能源供需平衡和市场优化。三是市场运营模型。市场运营模型描述了调度中心在微电网市场中的运营行为。它可以基于市场需求、能源价格和竞争情况来建立。市场运营模型可以预测调度中心如何参与市场交易、定价策略和市场竞争策略。

三、基于博弈论和优化方法的微电网市场优化模型

（一）微电网市场的供需关系建模

基于博弈论和优化方法的微电网市场优化模型中，微电网市场的供需关系可以通过建立一个供需模型来进行建模。这个模型可以基于博弈论的概念和优化方法来描述微电网市场中的供应商和用户之间的相互作用和决策行为。

在这个模型中，供应商和用户被视为参与博弈的玩家，他们根据自身的利益和目标来做出决策。供应商的目标是最大化利润或最小化成本，而用户的目标是最大化效用或最小化支付成本。供应商和用户之间存在着相互依赖和相互影响的关系，他们通过市场交易来满足各自的需求。供需模型的建模过程可以包括以下几个步骤：第一，确定供应商和用户的决策变量。决策变量可以包括供应商的能源产量、能源价格和能源销售策略，以及用户的能源需求量和能源购买策略。第二，建立供应商和用户的效用函数。供应商和用户的效用函数描述了他们对于不同决策变量的偏好和目标。供应商的效用函数可以基于利润或成本来建立，而用户的效用函数可以基于效用或支付成本来建立。第三，建立供需关系方程。供需关系方程描述了供应商和用户之间的供需关系。它可以基于供应商的能源产量、能源价格和能源销

售策略，以及用户的能源需求量和能源购买策略来建立。第四，进行博弈分析和优化求解。基于建立的供需关系方程，可以进行博弈分析和优化求解来确定供应商和用户的最优决策策略。

（二）微电网市场的价格机制设计

基于博弈论和优化方法的微电网市场优化模型中，微电网市场的价格机制设计是为了实现供需平衡和市场优化，以促进微电网的可持续发展和运营。定价策略是指供应商在微电网市场中设定的能源价格。供应商可以根据自身的成本和市场需求来确定价格。定价策略可以根据时间段、能源类型和市场需求弹性等因素进行调整。例如，供应商可以根据高峰时段和低谷时段的能源需求差异来设定不同的价格，以引导用户在低谷时段消耗能源。竞价机制是指用户在微电网市场中对能源进行竞价购买的机制。用户可以根据自身的需求和支付能力来进行竞价。竞价机制可以鼓励用户在能源需求高峰时段减少能源消耗，以便获得更低的能源价格。能源交易规则是指微电网市场中供应商和用户之间进行能源交易的规则和方式。这包括交易的时间段、交易的数量和交易的方式等。能源交易规则可以根据市场需求和供应能力来制定，以实现供需平衡和市场优化。奖励机制是指为了鼓励供应商和用户参与市场交易和能源调度而设立的奖励措施。例如，供应商可以根据能源产量和供应稳定性来获得奖励，用户可以根据能源消耗和需求弹性来获得奖励。

（三）微电网市场的优化目标函数建立

基于博弈论和优化方法的微电网市场优化模型中，微电网市场的优化目标函数的建立是为了实现供需平衡和市场优化，以最大化整个微电网系统的效益。供应商的利润最大化是指供应商通过在微电网市场中销售能源来获得最大的利润。供应商的利润可以通过能源销售收入减去成本来计算。成本可以包括能源生产成本、能源传输成本和能源储存成本等。供应商的优化目标函数可以是最大化利润。其次，用户的效用最大化是指用户通过在微电网市场中购买能源来获得最大的效用。用户的效用可以与能源的价格和能源的质量相关。用户的优化目标函数可以是最大化效用，其中效用可以基于能源的消费量、能源的价格和用户的偏好来定义。再次，能源系统的效益最大化是指通过优化微电网市场的运营和交

易策略来提高整个能源系统的效益。能源系统的效益可以包括能源利用效率、能源供需平衡和市场公平性等方面。能源系统的优化目标函数可以综合考虑供应商和用户的利益,以及能源系统的整体效益。最后,环境可持续性是指通过优化微电网市场的运营和交易策略来减少对环境的影响并促进可持续能源的发展。环境可持续性可以通过优化能源生产、传输和消费等环节来实现。

四、数值实验和结果分析

(一) 实验设置和数据收集

根据实际情况选择一个微电网系统作为实验场景。该微电网系统可以包括多个供应商和用户,并且具有不同的能源类型和能源需求。同时根据实际情况和模型需求,确定实验中需要设置的参数,包括能源价格、能源生产能力、能源传输能力、能源储存能力等。确定实验的时间段,可以是一天、一周或一个月等。时间段的选择应能够反映出不同时间段的能源需求和供应情况。关于数据收集可以从以下几个方面进行考虑:一是能源数据收集。收集实验场景中的能源数据,包括能源产量、能源消耗、能源价格等。这些数据可以通过传感器、计量仪表或实际运营数据等方式获取。二是用户数据收集。收集实验场景中用户的能源消耗数据,包括能源需求、能源消耗量、能源价格偏好等。这些数据可以通过用户调查、问卷调查或实际能源使用数据等方式获取。三是模型参数收集。收集模型中需要用到的参数,包括供应商的成本、用户的支付能力、能源传输和储存的效率等。

(二) 模型的有效性和可行性验证

首先,通过与实际数据的对比,检验模型的数据拟合能力。可以比较模型预测的能源价格、供需量等与实际观测数据的差异,评估模型的拟合效果。进行灵敏度分析,评估模型对关键参数的敏感性。通过改变参数值,观察优化结果的变化,可以判断模型对参数变化的响应程度,验证模型的有效性。与其他相关模型进行对比,评估模型的性能。可以与传统的能源市场模型或其他微电网市场模型进行对比,比较模型的优势和劣势,验证模型的有效性。

其次,关于可行性验证,通过评估模型的运行效率,确保模型在可接受的时间内能够求解出最优解。可以通过记录模型求解时间和内存占用情况来评估模型的可行性。检验模型的约束条件是否满足。模型中可能有

各种约束条件,如能源供需平衡约束、能源传输和储存的限制等。验证模型在实际场景中是否能够满足这些约束条件。最后,将模型应用到实际微电网市场中,观察模型的实际应用效果。可以与实际运营数据进行对比,评估模型的可行性和实用性。

(三) 结果分析和讨论

根据实验设置和数据收集的结果,运行微电网市场优化模型,并求解优化问题,得到最优的能源交易策略和价格机制。分析优化结果,包括供应商的利润、用户的效用、能源系统的效益等方面,可以比较不同策略和机制的效果,评估模型的性能和可行性,进行敏感性分析,评估模型对关键参数的敏感性,可以通过改变参数值,观察优化结果的变化,以评估模型的鲁棒性和稳定性。

结束语

综上所述,微电网作为一种新兴的能源供应模式,具有很大的发展潜力和广阔的应用前景。本文基于需求侧响应的思想,提出了一种微电网市场优化模型,为微电网的运营和管理提供了一种新的解决方案。通过合理的供需关系和价格机制,能源资源得到了高效的配置和调度,实现了能源的可持续发展和利用。然而,微电网市场的优化仍然面临着一些挑战,包括市场机制设计、信息不对称和参与者行为等方面。未来的研究可以进一步探索这些问题,并提出更加完善和有效的解决方案,推动微电网市场的发展和应用。

参考文献

- [1] 杜乐. 基于多智能体的微电网电力市场交易策略研究[D]. 导师: 岳东. 南京邮电大学, 2020.
- [2] 谢敬东, 陆文奇, 吕志伟. 电力市场环境下的微电网双层经济运营优化模型[J]. 现代电力, 2020, 37(04): 433-440.
- [3] 刘尚科, 尤菲, 肖艳丽, 苟瑞欣, 王铮, 聂麟鹏. 基于电改背景下的风光燃储微电网参与现货市场交易的决策优化模型研究[J]. 数学的实践与认识, 2019, 49(24): 67-75.
- [4] 德格吉日夫, 谭忠富, 杨莘博, 李梦露, 杨博, 孔维政, 张宁. 电力市场环境下考虑投标决策的微电网运行鲁棒优化[J]. 可再生能源, 2018, 36(11): 1697-1703.