

# A Survey on Wide-Area Backup Protection in Energy Internet

Kefeng Li, Xiaofeng Fan, Xiangyu Liu, Hua Cheng

State Grid Chengdu Electric Power Supply Company, Chengdu Sichuan  
Email: 839691312@qq.com

Received: Dec. 6<sup>th</sup>, 2016; accepted: Dec. 20<sup>th</sup>, 2016; published: Dec. 23<sup>rd</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

The construction of energy Internet provides an opportunity for the development of relay protection. However, the traditional relay protection system is inadequate in the complex interconnected power grid protection. Based on wide area measurement technology, communication technology and computer technology, the energy internet relay protection has developed into a global perspective of the wide-area protection. Through comparison of the energy internet relay protection and traditional protection, the function and structure of energy internet relay protection are introduced, and the main features of the energy internet relay protection are described in the case of the differential protection. Besides, the future development is prospected in this paper.

## Keywords

Energy Internet, Relay Protection, Wide-Area Protection, Differential Protection

---

# 能源互联网继电保护研究与展望

李科峰, 樊晓锋, 刘翔宇, 程 华

国家电网公司成都供电局, 四川 成都  
Email: 839691312@qq.com

收稿日期: 2016年12月6日; 录用日期: 2016年12月20日; 发布日期: 2016年12月23日

## 摘要

能源互联网的建设为继电保护领域的发展提供了机遇,然而传统继电保护系统在复杂互联的电网保护中已凸显能力的不足。以广域测量技术、通信技术、计算机技术为基础,能源互联网继电保护发展为着眼于全局角度的广域保护。本文通过对能源互联网继电保护与传统继电保护的对比,介绍了能源互联网继电保护的功能、结构,以纵联差动保护为例阐述了能源互联网继电保护的主要特征,并对其未来发展进行了展望。

## 关键词

能源互联网, 继电保护, 广域保护, 纵联差动保护

## 1. 引言

可再生能源的大规模开发和利用将成为全球能源领域发展的主要趋势,同时也面临如何实现分布式可再生能源的广泛互联、如何提升能源系统效率和灵活性等问题与需求,以互联网理念为基础的能源互联网成为行业主要发展方向[1] [2]。能源互联网将给能源开发、配置、消费和生产生活各环节带来变革,但同时也为继电保护以及安全稳定控制带来了新的挑战。而目前传统继电保护在能源互联网的保护中存在一些固有问题,主要有如下几个方面[3]:

(1) 传统继电保护,如距离保护、过电流保护等,都是以快速、可靠地从系统中切除故障元件为目的,既保护了故障元件,又排除了故障元件对系统的影响。但是能源互联网中,由于电网的高度互联,传统继电保护切除故障元件后有可能如上述大停电事故出现由潮流转移引起的连锁跳闸,从而进一步恶化系统运行状况,直到系统最终崩溃。

(2) 能源互联网运行情况较传统电网更加复杂多变;传统继电保护因整定值固定,且后备保护按阶梯整定原则整定导致协调困难、动作延时较大,容易出现拒动或误动的现象,难以适应能源互联网安全稳定运行的需要。

(3) 传统继电保护的判断一般局限于本地或很小范围的电网运行信息,控制目标针对的是被保护元件或电网局部的运行状态,无法从保证能源互联网运行安全的角度处理可能发生的故障。

(4) 安全稳定控制系统之间以及传统继电保护与安全稳定控制系统之间缺乏协调配合。这种状况使得能源互联网中的每个继电保护装置或安全稳定控制装置都可能成为连锁跳闸过程的参与者。

同时,随着电网规模的不断扩大以及能源互联网的建设,特高压互联网、柔性交直流输电技术、新能源在电网中的应用,使得上述继电保护问题更加凸显,这些因素不仅成为威胁电力系统安全稳定的因素,而且会制约能源互联网的发展。近十年间,通信技术的快速发展使得电力系统各元件的运行状态信息得以在大空间尺度以及小时间尺度上进行交互;此外,计算机技术的快速发展,为进电网行大数据环境下的信息处理提供了卓越的硬件平台,在此背景下,将电力系统广域信息引入继电保护和安全稳定控制的广域保护随之兴起,成为能源互联网安全保护的发展方向[4] [5]。由于能实时获取能源互联网的运行方式,广域保护可通过装置或系统间的信息交换实现继电保护与安全稳定控制系统的协调配合,从而有效避免传统继电保护存在的问题,保障能源互联网的安全、稳定运行[6]。

## 2. 能源互联网继电保护基本概况

### 2.1. 与传统继电保护的差别

作为电力系统安全运行的第一道防线,继电保护需承担两方面的基本任务:一是对于故障元件能自

动、迅速、有选择性地从系统中切除，保证无故障部分的正常运行；二是能够反应电气设备故障外的不正常运行状态，根据系统运行维护情况发起警报或跳闸。传统继电保护主要以保护电力系统某一特定元件为目标设置，如图 1 所示[7]。

然而，随着现代电网的结构愈加复杂，后备保护的整定配合更加困难，通过上述配合方式在很多情况下无法保证继电保护选择性的要求。而当电网灾变发生，电网结构或运行工况发生非预设性改变时，传统保护更是难以保障电网安全，这也是近年来大停电事故规模扩散的主要原因。

能源互联网的提出借鉴了信息互联网的相关特征，在未来电网中，固态变压器将替代传统变压器并承担对分布式能源和负载的管理。不同于传统变压器，固态变压器有较强的限流作用，因此与传统电网相比，能源互联网的故障电流较小，传统继电保护中利用电流变化判断故障的方法效果将受到较大影响。另外，传统继电保护所采用的机械式断路器会造成切除系统故障时出现短暂的功率流动中断，很大程度上会干扰系统关键负荷运行，在能源互联网继电保护中，也提出了利用 IGBT 等电力半导体器件代替机械式结构而研制固态断路器，以保证能源互联网发生故障时能够快速的隔离故障单元。

能源互联网继电保护除了上述硬件上的更新，其相关的故障甄别、保护整定等技术也将发生改变。随着能源互联网的逐步建设，使得电力网络通信系统发生了翻天覆地的变化。目前众多变电站内部都改用以太网取代工业控制现场总线而组建了内部局域网络，高压变电站之间铺设电力光纤环网、基于 PMU、WAMS 的广域通信系统建立。将广域测量技术引入继电保护中，利用丰富的区域信息，使保护装置做出全局最优决策以满足速断性、选择性的要求，由此构成了能源互联网的广域继电保护。比较于传统继电保护，广域继电保护将不仅是针对某一元件的单一式保护，利用广域范围的信息采集与分析，广域继电保护将有效预防因局部保护动作而引起的潮流转移、非故障误动作等情况，同时对于分布式能源的投切具有更好的适应性。

另一方面，依靠广域测量、通信系统的建立，能源互联网继电保护将承担除传统保护以外的更多监控功能，目前并存的继电保护及紧急控制系统将在能源互联网继电保护的建设中走向融合。

## 2.2. 能源互联网继电保护功能划分

能源互联网对继电保护的要求，并不局限于作为继电保护保障电力元件的安全，除了沿用原有主保护以外，利用广域测量系统使后备保护的准确、速动性能更佳；同时，能源互联网继电保护系统需要保证各保护装置之间动作的协调配合，确保以最小影响范围切除故障且避免系统发生大规模连锁跳闸及崩溃现象的出现。图 2 所示为国际大电网会议对广域保护系统的功能划分[8]。

由图 2 可以看出，能源互联网继电保护在保留原有主保护功能外，将形成保证电气设备安全运行的

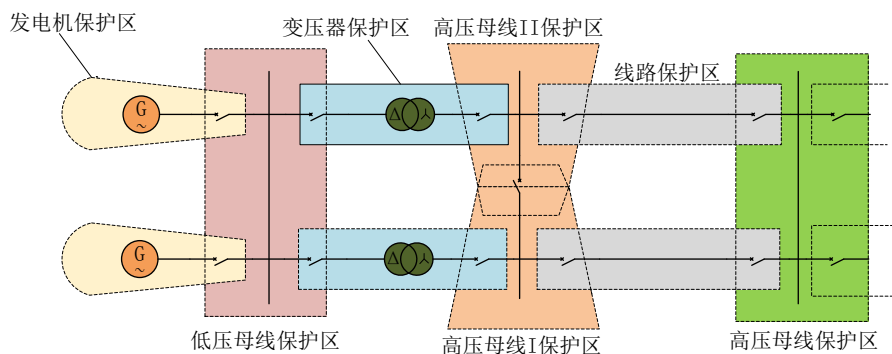


Figure 1. Protection range of traditional power relay

图 1. 传统继电保护装置保护范围

同时还兼顾系统稳定性控制的广域后备保护。

### 2.3. 广域保护的基本结构

国内外对于能源互联网广域保护系统的建设因技术和硬件不同而有所区别,随着智能变电站的建设,目前出现了如图3所示的三种基本结构[9]。

区别于传统继电保护的结构,能源互联网继电保护充分利用广域通信网络的信息传输能力,结合智能电子设备(IDE)的信息处理能力,能够实现大数据量、广域范围的设备保护与状态监控,这是传统保护硬件平台难以完成的。

### 3. 能源互联网继电保护技术简述

“广域”特征是能源互联网继电保护区别于传统继电保护的主要特征,随着广域测量技术、通信技术、计算机技术的发展,能源互联网继电保护的 protection 范围将从传统的元件保护扩展至区域保护,由此带来的改变并不仅是保护范围的增加,同时使得继电保护能够实现对整个电网结构的动态监控,同时对分布式电源的投切以及潮流转移都具备识别能力,以下通过传统电流差动保护与广域电流差动保护的比较简述能源互联网广域保护的主要特点。

传统纵联电流差动保护以基尔霍夫电流定律为基础,利用通道将两侧测量的电流信息互传,每侧保护根据两侧的电流信息比较以判断故障位置。以图4所示的输电线路为例。

当线路发生内部故障  $k_1$  或外部故障  $k_2$  时,线路两侧断路器测量的电流向量和有如下区别:区内故障时,  $\sum \dot{i} = \dot{i}_M + \dot{i}_N = \dot{i}_{k1}$ ; 区外故障时,  $\sum \dot{i} = \dot{i}_M + \dot{i}_N = 0$ 。利用电流向量和的特征,设定继电保护装置动作整定值即可实现线路的有效保护。

纵联电流差动保护所提取的电流信息仅限于元件两侧,虽然有较好的选择性、速动性及选相能力,但由于信息范围的局限性,该方法无法兼顾故障切除对临近电网的影响,尤其对于能源互联网的保护,复杂的电网结构及分布式电源的随时投切使纵联电流差动保护难以保障系统的安全。

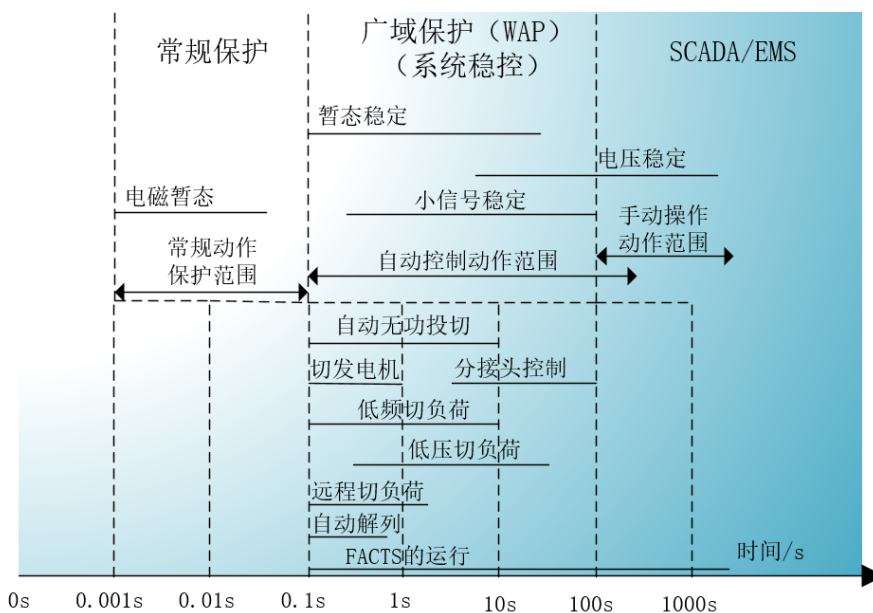
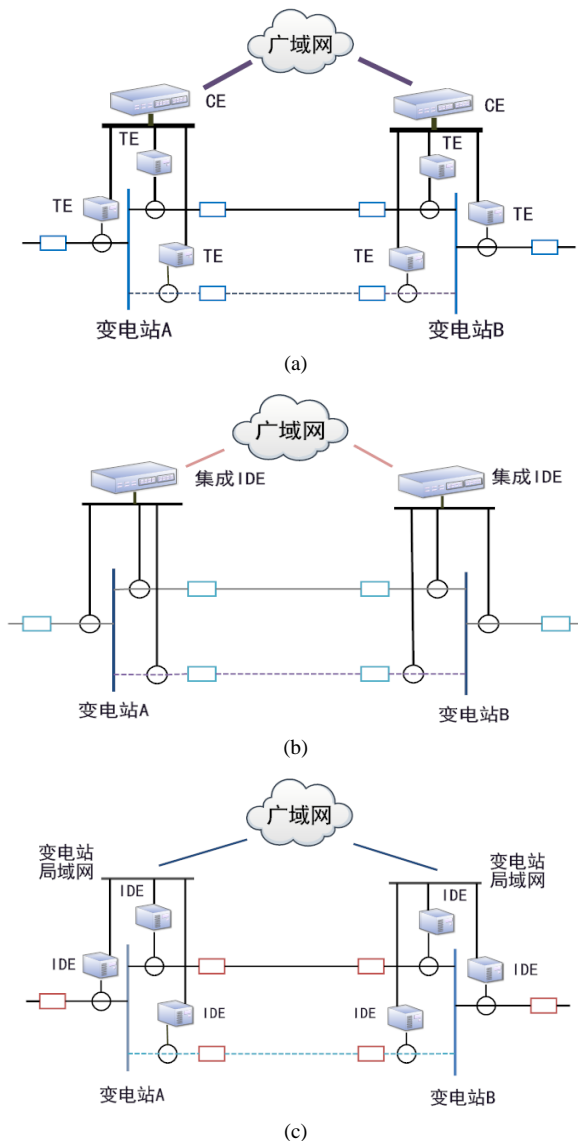


Figure 2. Functional partitioning of Energy Internet wide-area protection

图2. 能源互联网广域保护功能划分



**Figure 3.** Structure of Energy Internet wide-area protection system: (a) Centralized structure; (b) Integrated structure; (c) Distributed structure

**图 3.** 能源互联网广域保护系统基本结构：(a) 集中式结构；(b) 集成式结构；(c) 分布式结构

以纵联电流差动保护的思想，结合广域测量系统，便可提供区域化的系统保护方案，即广域电流差动保护[10]。能源互联网主要采用环路供电策略，以图 5 所示环路为例，对该环路设置广域电流差动保护。首先，利用纵联差动的思想，将整个保护系统作用域按保护范围大小划分为 3 类不同差动区：边界差动区、域内差动区及元件差动区。图 5 中最外侧虚线框为边界差动区，表示广域电流差动保护的最大保护范围，利用基尔霍夫电流定律，只需采集该框与外部电网进出线上的所有电流参数并求取向量和，即可判断故障发生于保护区内或保护区外；内部椭圆虚线框所包含的是域内差动区，图示环路根据电网结构及通信距离划分为三个不同区域，每个区域与临近区域边界处配置终端设备(如 CE、IED 等)，终端设备收集区域间连接进出线的电流参与差动计算，以判断故障发生的确切位置；元件差动区与纵联差动保护设置类似，通过计算元件两侧电流差动以判断元件故障[11]。

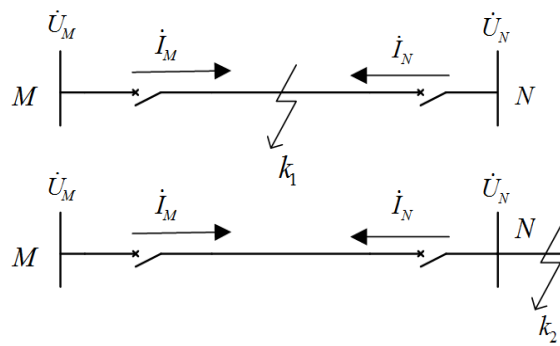


Figure 4. Current differential protection of transmission line  
图 4. 输电线路纵联电流差动保护

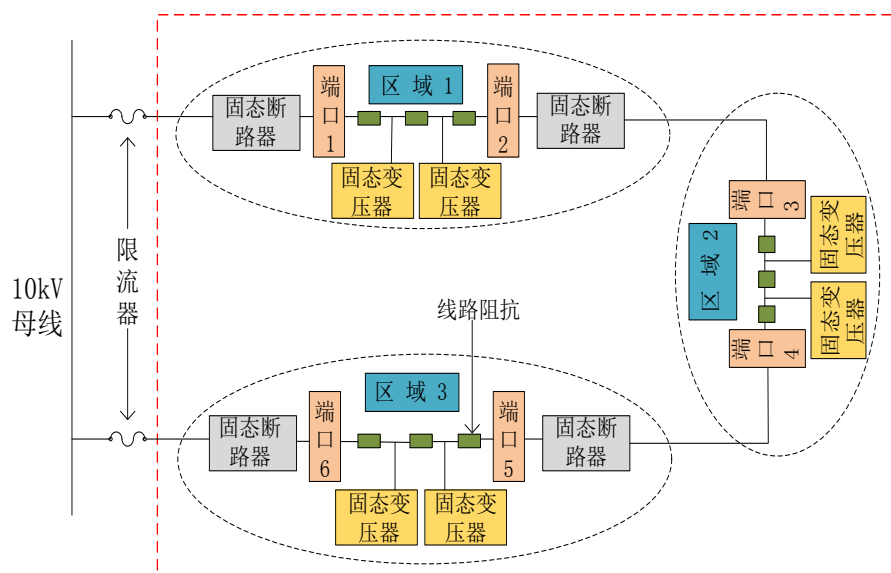


Figure 5. Wide-area current differential protection of regional power grid  
图 5. 区域电网的广域电流差动保护

由上述介绍可知，传统电流差动保护仅利用电力系统元件两侧的电气信息，其保护范围局限于元件本身，虽然利用通信手段传输两侧信息，但其传输速度与精度均受限于通信通道，且当元件故障保护动作后，难以评估对邻域线路的影响，无法避免连锁故障的发生。相比之下，广域差动保护拥有更广泛的保护范围，且其保护能力随通信系统及计算机处理能力的提升而不断提升，这使得广域电流差动保护有能力评估故障点切除所产生的潮流转移。

#### 4. 结论与展望

能源互联网继电保护系统，是在广域测量系统、互联网通信技术以及电力电子技术发展的基础上建立的。强大的硬件平台决定了该广域保护系统不再是局限于常规保护的简单作用，通过对广域信息的快速采集与同步传输，广域保护在辅助传统主保护、提高保护整定的自适应能力、简化保护配合、缩短保护动作时间等方面都有显著提升。与此同时，广域保护系统还将兼具系统安全控制的能力，实时动态的广域信息处理使广域后备保护能及时掌握系统运行状态、运行结构的改变，利用高效的算法分析，对系统潮流转移、分布式电源的投切等情况都能有效识别并控制系统的稳定运行。

能源互联网的建设,为继电保护的发展带来了新的契机,但也同时带来了前所未有的挑战,特高压电网的建设、电网规模的扩大,将造成短路电流的增大而影响保护整定可靠性降低;分布式电源的灵活接入、多变压器的运行方式带来的后备保护配合、双向潮流、系统阻抗的变化等问题均会给继电保护定值整定带来困难,保护定值的自适应能力也将受到严峻考验。这些能源互联网所带入的新问题,对继电保护提出了更高的要求,同时也为继电保护领域研究提供了更广阔的平台。

### 参考文献 (References)

- [1] Rifkin, J. (2011) *The Third Industrial Revolution*. Palgrave Macmillan, London, 26-27.
- [2] 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [3] 薄志谦, 张保会, 董新洲, 等. 保护智能化的发展与智能继电器网络[J]. 电力系统保护与控制, 2013(2): 1-12.
- [4] 王增平, 姜宪国, 张执超, 等. 智能电网环境下的继电保护[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 26(2): 13-18.
- [5] 邓建玲. 能源互联网的概念及发展模式[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(3): 1-5.
- [6] 贾常艳. 未来继电保护: 基于高速通信网和大数据信息平台的集成广域保护控制——访国网许继集团有限公司智能电网首席专家薄志谦[J]. 电器工业, 2015(8): 59-61.
- [7] 焦彦军. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [8] 易俊, 周孝信. 电力系统广域保护与控制综述[J]. 电网技术, 2006, 30(8): 7-12.
- [9] 董雪源. 基于互联网技术的电力系统广域保护通信系统研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [10] 丛伟, 潘贞存, 赵建国, 等. 基于电流差动原理的广域继电保护系统[J]. 电网技术, 2006, 30(5): 91-95.
- [11] 查亚兵, 张涛, 黄卓, 等. 能源互联网关键技术分析[J]. 中国科学: 信息科学, 2014, 44(6): 702-713.

#### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jee@hanspub.org](mailto:jee@hanspub.org)