

智能电力设备与 半波长交流输电

◆ 郑健超

(中国广东核电集团, 广东 518028)

本文主要介绍两项电网技术研究的进展情况, 一项技术是用于现代电网的“智能电力设备”; 另一项技术是用于超远距离输电的“半波长交流输电技术”。

1 智能电力设备

1.1 什么是“智能电网”

“智能电网”现已成为研究的热点。什么是智能电网目前尚无统一的定义, 各人的解读差别也很大, 媒体和厂家的宣传报道更不乏概念炒作的成分。这个术语来自smart grid(可译为“灵巧电网”), 也有人称为intelligent grid(智能电网)。国内均翻译为“智能电网”。类似的称谓很多, 例如: 智慧电网(wise grid), 自愈电网(self healing grid), 微网(micro grid), 灵活可靠智能化的能源供应系统(FRIENDS), 超级电网(super-grid), 先进电网(advanced grid), 数字化电网(digital grid), 电能-信息融合网(energy-information merged grid), 等等。“智能电网”和这些类似的说法到底有何联系? 与通常讲的“现代电网”(modern grid)有无本质差别? 已成为业界热议的话题。

笔者认为: 智能电网(smart grid)不是一个特定的技术词汇, 也不是一个“新技术领域”, 它只是对现代电网的一种概括性的描述。“智能电网”和其他类似的名称都是从不同的角度诠释“现代电网”的一种表达方式, 也就是“一个电网各自表述”而已。“智能电网”(灵巧电网)主要侧重在描述现代电网两个基本特征: ①主要的电气设备和

电网的参量可以通过先进的双向信息通信系统, 实施灵活控制, 保证电网安全经济运行; ②供电方通过“智能配电设备”, 向用户提供可靠、优质、个性化的电能供应, 实施需求侧管理, 以节约资源。

由于电力电子技术、电网控制技术、信息通信技术发展的突飞猛进, 有专家认为未来电网将是由无所不在的电能(动力)网与无所不在的信息通信网融为一体而形成的电能-信息融合网。各种设备将就地接入“电能总线”和“信息总线”。该发展过程与微型计算机广泛应用的发展过程相类似。

现代电网可以通过局域网和广域网传递的信息, 对电网的各种设备实施灵活控制, 达到优化利用电网资源、提高可靠性和运行灵活性的目的。FACTS(灵活交流输电)技术就是具有代表性的关键技术之一。原先的固定串补、固定高抗, 由于FACTS的应用已经实现了灵活控制。随着电力电子技术的不断进步, 预计会有更多原来认为的“笨重设备”(如变压器、开关等)也可以实现灵活控制, 变得灵巧起来。

现代电网还可以为电力供需双方提供灵巧的界面和双向通信功能。美国、加拿大、意大利等国已建立或正在建立“智能电网”的设计目标, 都是利用具有智能表计(smarter metering)的先进配电设备, 实现供电方与用户之间的双向通信, 实施需求侧管理(DSM), 达到节能降耗的目的。这些“智能电网”都属于配电网。由这些实例可以看出:

“智能电网”并不是一个与传统电网截然不同的新技术领域, 其技术内涵仍然是先进表计、电能质量控制、配电自动化、需求侧管理等大家所熟悉的



内容。

1.2 什么是“智能电力设备”

目前业界对“智能电力设备”的解读和理解也有很大的差别。有些厂家甚至把一般的低压电气设备也冠以“智能×××”的名称,这样容易造成对新产品研发的误导。

首先应当说明,电力系统现在谈论的“智能设备”,与严格意义的人工智能设备有本质上的差别。“智能设备”或“智能机器”(intelligent machine)是指能够在各类环境中自主地或交互地执行各种拟人化任务(anthropomorphic tasks)的机器。智能机器能够执行与人类智能有关的功能,如判断、推理、证明、识别、感知、理解、设计、思考、规划、学习和问题求解等思维活动。智能机器的代表作包括:战胜了世界象棋冠军的“深蓝”(deep blue) IBM计算机系统,能够进行深海探测的潜水机器人,美国研制的火星探测车等。显然,“智能电气设备”与这些高端的智能设备并不是一回事。

电力系统中的“智能设备”或“灵巧设备”主要是强调设备的灵巧性,是指通过现代通信手段进行远程灵活控制的电气设备。“smart”一词是一种概括性的词汇(umbrella term),国外常使用“smart”来描述可灵活控制的设备,例如,精确制导炸弹称为灵巧炸弹(smart bomb),具有双向通信功能的表计称为smart meter,根据太阳光线的强度调节透明度的窗户称为“智能窗户”等等。所以,把它翻译为“灵巧设备”比“智能设备”更符合实际。这样也可以和高端的智能设备区别开来。

电力系统的智能设备(灵巧设备)应当具备两个基本条件:①可以灵活控制。所谓“灵活”是指控制调节的速度应与电力系统过程的速度相匹配。一个机械开关,尽管可以按照指令进行分合闸,但不能算是灵活控制;②具备双向通信功能,能够通过信息网进行管理。电力系统的继电保护、电网控制、调度自动化等二次设备显然具备“智能设备”的条件。电力系统的“智能设备”还应包括:FACTS设备、“定制电力”设备、智能表计系统、电力系统参量实时测量系统(如WAPM)等。

1.3 传统一次设备如何实现智能化

开关和变压器是数量最多、应用面最广的重要电力设备,如果能够灵活可控,则会给电网带来重大效益。例如,开关如能在指定的相位开断,就

可以基本上消除电力系统操作过电压,大幅度降低设备的绝缘水平,从而可带来重大效益;电力变压器如果能实现智能化,无疑会使电网发生重大变化。

但是,传统的一次电气设备要实现“智能化”绝非易事。变压器由铁心和初/次级绕组构成,变比固定,无法灵活控制;断路器的操作机构至今仍然是机械式的,其动作速度与电子开关相比要差2~3个数量级,不具备灵活控制的条件。变压器和断路器这种重要设备如果不能灵活控制,“智能电网”的功能就要大打折扣。所以,“智能断路器”和“智能变压器”将成为研究重点。

大功率高电压的可关断电力电子器件(绝缘栅双极晶体管(IGBT)、集成门极换向晶体管(IGCT))的出现,为这类传统电气设备的“智能化”、“电子化”创造了条件。目前,用于配电网的固态开关已经研制出来;用于配电网的智能变压器正在研究当中。至于其他一次设备是否需要智能化,取决于市场需求、技术可行性和收益/代价的权衡。例如,金属氧化物避雷器(MOA)是深度抑制过电压的关键设备,其本身就是一个能够快速响应的非线性电阻,似无必要再去研究“智能MOA”。

1.4 智能万用变压器

目前正在研究的智能万用变压器(IUT),又可以称为“电子变压器”,实质上是一种用于配电系统的多功能变换器。现代社会对供电系统的供电可靠性、电能质量、服务多元化、配电设备的环境友好性等提出了越来越高的要求,需要发展一种把电压变换、频率变换、动态无功补偿、电能质量控制和不间断电源等功能集于一身的配电设备。智能万用变压器具有如下的功能和优点:

①既是变压器又是变频器,可提供多样化(直流、工频、高频)的电力供应;②动态无功补偿功能;③电能质量控制功能,包括谐波抑制,电压骤降补偿,闪变抑制等;④短时间储能,保证电力不间断供应;⑤一机多用,节省资源;⑥无铁心无油,对环境友好;⑦有利于实现设备模块化、标准化;⑧可用作配电自动化设备的传感器。

智能万用变压器有两种设计方案,即混合设计方案(hybrid design)和全固态方案(all solid-state design)。前者是传统的配电变压器和“定制电力”(custom power)设备的无缝连接。变压

器高压边没有电力电子组件, 电力电子组件接入不同的低压绕组。此方案的优点是电力电子组件不承受高电压, 变压器初级/次级之间没有电的直接联系, 有利于防止高压侧的暂态过电压窜入低压网。因为它没有摆脱对传统变压器的依赖, “智能万用变压器”一些重要的功能还不能完全实现, 只能算作一个过渡方案。

后者是指用电力电子组件完全取代传统的变压器, 构成不同的AC/DC、AC/AC变换器, 并与“定制电力”(custom power)设备实现功能融合。为了解决变压器高压侧/低压侧的电气隔离, 有的方案采用通过高频环节把高压侧/低压侧的电力电子组件连接起来。目前, 用于配电网小容量的样机已经研制出来。

2 半波长交流输电技术

半波长交流输电(HWACT, half wavelength AC transmission)是指输电的电气距离接近1个工频半波, 即3000 km(50Hz)或2600km(60Hz)的超远距离的三相交流输电。HWACT的概念于1940年由前苏联专家首次提出, 后因没有工程需求以及一些关键技术当时无法解决而未能在工程中得到应用。在幅员广阔的国家, HWACT是一种很有吸引力的输电方案。巴西为把亚马孙河流域的大水电送到负荷中心, 曾经研究过HWACT, 而且被认为是非常有竞争力的。韩国也曾经研究过用HWACT将西伯利亚的水电送到韩国。

最近全球应对气候变化挑战, 超远距离大功率送电又提上日程, 因而HWACT再次受到关注。

2.1 半波长交流输电技术的特点

这种超长距离的交流输电与中等长度(数百km)的交流输电相比, 它有一些截然不同的特性和显著的优点:

(1) 无需安装无功补偿装置

中等距离的超/特高压交流输电, 无功调节是一个重要的技术关键问题。空载线路末端电压随着线路长度的增加而增加, 在最不利的条件下, 可升高到电源电压的20倍以上。安装大量的无功补偿装置是必不可少的。而空载HWACT线路沿线电压的变化规律与此截然不同: 空载线路两端电压相等, 而中间点(1/4波长处)电压为零。也就是说, 空载线路末端电压与带负荷时的电压接近, 基本上不需要安装无功补偿装置。

(2) 全线无需设中间开关站

中等距离的超/特高压交流输电, 因无功补偿的需要, 全线需分段并设开关站; 而HWACT线路无需无功补偿, 因而中途不需要设开关站, 可以实现真正的点对点输电, 减少了下一级电网的分流。实际输电能力很强, 1回特高压HWACT可以输送8GW左右的电力。

(3) 过电压水平不高

一般的概念是: 线路越长过电压越不易控制。但这个概念不适用于HWACT。按照巴西学者的仿真计算结果, HWACT在各种运行状态下的过电压水平不高于中等距离的输电线路的水平。根据我国特高压试验示范工程线路的参数, 建立3000km长的特高压线路模型, 对合空载线的过电压做初步分析。在不采取任何限制过电压的措施的情况下, 2%统计合闸过电压的最大值出现在线路末端, 当无合闸电阻时其电压最大值为2.15pu; 第二大值出现在距离线路首端400km处, 达到1.9 pu。过电压沿线的分布规律与空载电压的分布规律类似。因此在线路首端和末端分别安装一定参数的MOA后, 估计便可将过电压限制到标准要求的数值。

HWACT的经济性极佳。由于HWACT输电不需要安装无功补偿装置, 全线没有开关站, 输电设备数量可大大减少, 因而造价很低。据巴西的设计初步测算, 800kV、1000kV HWACT输送单位长度、单位功率的费用分别为500kV输电线路费用的37.5%和29.8%。

HWACT的经济性也优于直流输电。一般而言, 输电距离超过临界距离后, HVDC比HVAC经济。但是, 在半波长的这种特定的超远距离送电的情况下, HWACT输电的经济性不仅优于中短距离的HVAC, 而且也优于HVDC。

2.2 需要进一步研究的问题

在实现HWACT的工程应用中, 还有以下技术问题需要深入研究: ①潜供电流抑制技术。根据仿真计算, 如果在HWAC线路的最不利的地点发生单相接地故障时, 流过接地点的潜供电流可达500~600 A, 这显然不利于单相重合闸。因而需要研究适用于HWAC的能抑制潜供电流的措施; ②超长距离线路的继电保护技术; ③HWACT过电压与绝缘配合的研究; ④人造半波输电线路问题, 即研究自然线路的电气长度不足半波长时, 如何进



行人工补偿的问题；⑤超远距离线路的运行维护技术。

2.3 在我国的应用前景

我国幅员广阔，大型水电基地距离负荷中心遥远，因此HWACT输电在我国会有重要的应用前景。例如，我国新疆煤电/可再生能源基地到上海或珠三角的直线距离均在3000km左右，将新疆煤电与可再生能源发电打捆送出，采用HWACT可能是一个技术经济特性均佳的方案。另外，西部大型水电厂电力外送、未来国际间的超长距离送电和联网，HWACT也可能是一个很好的选择。📌



作者简介：

郑健超，男，中国工程院院士，高电压技术专家，中国电机工程学会副理事长，中国电力科学研究院名誉院长、中国广东核电集团公司科技委主任、高级工程师。长期从事高电压外绝缘、防雷和高电压测试技术领域研究并取得了多项重要成果。近年来曾主持或参与了灵活交流输电技术、电力系统故障电流限制技术和输电线路故障精确定位技术的研究，参与了我国能源、核电发展战略的研究。曾获国家科技进步二等奖两项。

简 讯

Power and
Electrical Engineers

中国电机工程学会召开智能电网研讨会

“智能电网”的出现已引起了电业界的普遍关注。为了加强学术交流，中国电机工程学会于2009年6月3日在北京中民大厦召开了智能电网研讨会。国家电网“2030技术路线图”项目专家组和工作组成员，以及来自学校和科研院所的80余名专家、学者和科技人员参加了会议。会议由中国电机工程学会学术工作委员会主任、中国科学院院士周孝信主持。

中国科学院科学时报社首席经济学家武建东教授介绍了奥巴马的能源政策、美国政府推进智能电网战略的背景，以及智能电网的概念、特征、本质、目标和操作标准等，提出了推动互动电网革命需要设计的架构原则、技术流程等建议。

IEEE/PES前主席、GE能源公司输配电业务总部全球战略总经理John D.McDonald,P.E介绍了智能电网的定义、架构、智能电网标准制定的最新动态，详细阐述了GE的智能电网解决方案和关键技术优化，以及GE建设的两个智能电网项目。他指出：“智能电网”是指在现有基础电网网架上，如何使用更多更有效的IT信息，如何集成和使用这些信息为我们的决策提供支持，实现智能电网的基础，一方面是如何收集和使用这些信息，另一方面建立坚实的基础是通信系统。他在对电网网架分成3层的基础上，对如何提升、更新目前的电网，使之更加智能化进行了探讨。📌

(咨询部供稿)



武建东教授在作“奥巴马的能源政策和智能电网”报告



John D. McDonald在作“智能电网技术”报告



智能电网研讨会会议现场