

电力系统几个基本概念的分析与探讨

李晓明

(山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061)

摘要: 电力系统基本概念是电力系统理论的基础, 基本概念的定义应精确与严谨。但是, 部分电力系统基本概念的定义不尽人意, 例如: 电力系统正常运行状态、不正常运行状态、故障状态、电力系统稳态、电力系统暂态、电力系统继电保护基本作用、等。对电力系统的这几个基本概念定义的内涵进行分析与探讨。分析了电力系统正常运行状态的特征, 讨论了电力系统正常运行状态与电力系统稳态的关系, 分析了电力系统继电保护基本作用的内涵。通过分析, 对不严密、不完整的认识提出补充和修改意见。通过对电力系统的这几个基本概念定义内涵的补充和修改, 提高了电力系统的这几个基本概念定义的严谨和完整性。

关键词: 电力系统; 基本概念; 正常运行; 电力系统稳定; 继电保护

Analysis for the definition of some basic concepts related to power system

LI Xiao-ming

(Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: The definition of basic concepts related to power system seems unarguable and beyond questions. However, some of them appear inconsistent with one another, so they are still controversial issues such as power system normal operating condition, power system abnormal operating condition, power system fault, steady state power system, power system transient, protective relaying function. This paper starts with the meanings of these basic concepts so as to analyse the power system and deal with the relaying protection. This paper analyses the characteristics of the power system normal condition and discusses the relationship between the normal operation condition and the steady state for the power system. Also, this paper talks about what are the objections that the relaying protection should accomplish. Basic concepts and the definitions are modified slightly. Actually, it enhances the accuracy and integrity of these basic concepts.

Key words: power system; basic concept; normal operating condition; steady state power system; protective relaying

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)19-0130-03

0 引言

电力系统分析与电力系统继电保护是电力系统的基本学科。100多年来, 电力系统得到很大发展。电力系统的发展, 推动了电力系统分析与电力系统继电保护学科的发展。长期以来人们对电力系统分析与电力系统继电保护的大量科研课题开展研究, 发表了大量论文, 促进了电力系统分析与电力系统继电保护理论与技术的发展。随着科研工作的不断深入, 人们对电力系统分析与电力系统继电保护基本概念的认识也逐渐加深。本文在前人大量科研论文的基础上, 对电力系统分析与电力系统继电保护的几个基本概念进行深入探讨, 对几个基本概念的内涵加以补充修正, 以求这些基本概念的描述更加严密和完整。并对修改的内容作出解释, 以求同仁

的接受与理解。

1 电力系统分析与继电保护的几个基本概念

电力系统稳态与电力系统暂态这两个基本概念是电力系统稳定分析的基础^[1,2]。把电力系统的运行方式分为稳态与暂态, 是人们从能量平衡的角度观察与分析电力系统的结果。电力系统正常运行、电力系统不正常运行、电力系统故障状态这三个基本概念是电力系统继电保护的基础^[3,4]。把电力系统的运行方式分为电力系统正常运行状态、电力系统不正常运行状态、电力系统故障状态, 是人们从电路的角度观察与分析电力系统的结果。对这些基本概念的把握, 无论是对科研工作、还是生产实践都是十分重要的。

1.1 电力系统正常运行状态、不正常运行状态、故障

建议电力系统正常运行的特征定义为：

(1) 电力系统或电力设备中的电流在设定的路径中流动。

(2) 电力系统的所有电力设备的运行参数都在规定的范围内。

(3) 电力系统电能质量符合规定要求。

上述特征是电力系统正常运行最基本的特征。

电力系统正常运行更高层次的要求还应具有：①电力系统结构有较高的可靠性。②电力系统经济运行。上述最基本特征的(2)、(3)条在以往的科技书籍就有描述，第(1)条是新增加的。下面就说明为什么需要增加第(1)条。

条件(1)是必须的。满足条件(1)表明电力系统没有故障。既没有断线，也没有短路。既没有金属性短路，也没有经过渡电阻短路。如果电力系统发生断线、或者发生经很大过渡电阻的短路(过渡电阻大于用电设备的电阻)，电力系统有可能仍是稳定的，电力系统的所有电力设备的运行参数都在规定的范围内，电力系统电能质量也符合规定要求。但是，电力系统不是正常运行的，电力系统处于故障状态。

在电力系统正常运行的必要条件中是否需要增加电力系统稳态条件？尚需继续研究与推敲。

建议电力系统不正常运行的特征定义为：电力系统或电力设备中的电流在设定的路径中流动，电力系统的某些电力设备的运行参数超出规定的范围。

建议电力系统故障的特征定义为：电力系统或电力设备中的电流没有在设定的路径中流动。电力系统或电力设备设定的路径之外增加新的电流流通过路径，称为短路。电力系统或电力设备中设定的电流流通过路径发生开断，称为断线。

以往的电力系统故障的定义为：“电力系统发生短路与断线，称为故障。”以往的电力系统故障的定义直接用“短路”与“断线”来定义电力系统故障，不妥。修改后的定义，避免了用“短路”与“断线”这两个还没有来得及定义的名词；而是，先定义“电力系统故障”；然后，再定义“短路”与“断线”这两个名词。

以往电力系统不正常运行的定义为：“电力系统的某些电力设备的运行参数超出规定的范围，又没有发生故障。”修改后的定义，避免直接用“没有发生故障”这个同级别的名词来定义“电力系统不正常运行”。

1.2 电力系统稳态与暂态

以往，把“电力系统正常运行状态”描述为电

力系统稳态的特征。其实，正常运行的电力系统一定是稳态的电力系统，稳态的电力系统不一定是正常运行的电力系统。电力系统某些设备过负荷，属于电力系统不正常运行；而且，电力系统是稳定的。电力系统经大过渡电阻短路，属于电力系统故障；然而，电力系统有可能仍是稳定的。

建议电力系统稳态定义为：在发电机组调速器作用下，各发电机转子吸收的正方向机械转矩等于转子受到的反方向电磁转矩；电力系统中所有发电机转子都以相同的速度均匀转动。在发电机励磁调节器作用下，发电机转子中的励磁电流按照均方差不变的规律调整变动；电力系统各母线电压也按照均方差不变的规律调整变动。

建议电力系统暂态定义为：电力系统从一种稳定运行状态到另一稳定运行状态的过渡过程；或者，电力系统从一种稳定运行状态到电力系统崩溃的过渡过程。

在电力系统稳态定义中出现“发电机组调速器”和“发电机励磁调节器”这两项装置，是为了强化电力系统稳态与这两项装置有密切关系的意识。

在电力系统稳态定义中，还强化了发电机转子在电力系统稳态中的重要地位。电力系统从发电机定子开始的所有电路部分，其有功功率与无功功率总是平衡的；电力系统发出的有功功率总和等于电力系统消耗的有功功率总和，电力系统发出的无功功率总和等于电力系统消耗的无功功率总和。这是电力系统的特性。无论电力系统正常运行状态、电力系统不正常运行状态、电力系统故障状态，等式约束条件总是成立的。电力系统有功功率不平衡，只会发生在发电机的转子这个节点上。因此，发电机的转子是电力系统功角稳态的重要观察点。电力系统所有发电机的转子得到的有功功率总和等于所有发电机的转子发出的有功功率总和，并不表明电力系统处于稳定运行状态。等式约束条件是电力系统处于稳定运行状态必要条件，而不是充分条件。等式约束条件：

$$\sum P_{Gi} - \sum P_{Lj} - \sum \Delta P_s = 0$$

式中： $\sum P_{Gi}$ 为 i 个发电机或其他电源设备发出的总有功功率； $\sum P_{Lj}$ 为 j 个负荷消耗的总有功功率； $\sum \Delta P_s$ 为电力系统中各种有功功率总损耗。

如果电力系统中某台发电机转子输入功率增加 ΔP ，而另一台发电机转子输入功率减小 ΔP ，整个电力系统的 $\sum P_{Gi}$ 恒定不变，等式仍然成立。可是，输入功率增加 ΔP 的发电机的转子可能要加速，输入功率减少 ΔP 的发电机的转子可能要减速，

电力系统将不稳定。不稳定的电力系统不是正常运行的电力系统。只有各（每一台）发电机转子吸收的正方向机械转矩等于转子受到的反方向电磁转矩，即电力系统中的所有发电机转子节点都是独自功率平衡的，电力系统中所有发电机转子才会以相同的速度均匀转动，电力系统处于稳定运行状态。

在电力系统稳态定义中，电压稳定运行状态用“励磁电流按照均方差不变的规律调整变动”和“电力系统各母线电压也按照均方差不变的规律调整变动”两条加以限定。调整发电机励磁电流是调整电力系统电压的主要方式，因此，励磁电流的状态在电力系统电压稳定中应有重要位置。电力系统各母线电压是判断电力系统是否电压稳定的直接决定因数。电力系统母线电压不但包含发电机励磁电流调整母线电压的结果，还包含接在母线上的负载和负载性质作用的结果。因此，电压稳定运行状态用励磁电流状态和母线电压状态两条加以限定。

“均方差”是借用概率统计学科名词。所谓均方差，表明电压的变化是随机的，不规则的；但电压会围绕某一目标值上下来回变化。电压的变化围绕某一目标值上下来回变化时，说明发电机励磁调节器在起控制作用，控制偏离目标值的电压回到目标值。如果电压的变化脱离均方差规律，电压就没有得到控制，电压就不是稳定的。

1.3 电力系统继电保护的基本作用

建议电力系统继电保护的基本作用为：

(1) 当电力设备正常运行时，继电保护装置不动作。

(2) 当电力设备不正常运行时，保护该设备的继电保护装置发出告警信号，通知值班人员处理。使电力设备尽早恢复正常运行。当然，也可由自动装置代替人工处理。

(3) 当电力设备故障时，保护该设备的继电保护装置快速地给离故障设备最近的断路器发出跳闸指令，把故障设备从电力系统中切除出去。减小电力设备的受损，尽可能缩小停电范围，保证其余电力系统继续安全运行。

增加“电力设备正常运行时，继电保护装置不动作”是必要的。电力系统继电保护有“不误动”与“不拒动”的要求。第2条与第3条任务是“不拒动”要求，第1条任务是“不误动”要求。

以往对继电保护基本任务的描述中有“选择性”一词。继电保护基本任务的描述中有“选择性”可行。因为，基本任务有需要执行的含义，能够执行任务的对象一定已经明白继电保护的基本概念，明白继电保护的四项基本要求，明白“选择性”的

含义。电力系统继电保护的基本作用的描述中采用“选择性”一词则不妥，继电保护的基本作用一般是解释给初次学习电力系统继电保护的人听的。继电保护的“选择性”有特殊的含义，与其他科学领域（例如：无线电等）的选择性不同。继电保护的“选择性”概念，其层次低于电力系统继电保护基本任务的概念。用一个还没有定义的低层次的概念解释高层次的概念，不妥。因此，修改后的继电保护基本作用中，把“选择性”的含义简略地直接表述在定义中。

继电保护装置发出跳闸指令，要通过断路器跳闸来切断短路电流，把故障设备从电力系统中切除出去。断路器在继电保护作用中是一个不可或缺地角色。因此，断路器的形象在继电保护作用中加以体现，是必要的。

2 结论

通过对电力系统正常运行状态、不正常运行状态、故障状态、电力系统稳态、电力系统暂态、电力系统继电保护基本作用这几个基本概念定义内涵的补充和修改，提高了电力系统的这几个基本概念定义的严谨和完整性。作者水平所限，提出的建议可能存在缺陷，需要在讨论中继续补充和修改。

参考文献

- [1] 陈珩.电力系统稳态分析[M].北京:中国电力出版社, 2007.1-28.
CHEN Heng. Analysis for Steady State Power System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2007.1-28.
- [2] 李光琦.电力系统暂态分析[M].北京:中国电力出版社, 1997.1-28.
LI Guang-qi. Analysis for Power System Transient State [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2007.1-28.
- [3] 张保会, 尹项根.电力系统继电保护[M].北京:中国电力出版社, 2005.1-5.
ZHANG Bao-hui, YIN Xiang-gen. Power System Protective Relaying [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.1-5.
- [4] 李晓明.现代高压电网继电保护原理[M].北京:中国电力出版社, 2007.1-5.
LI Xiao-ming. Theory of Protective Relaying in HV Power System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2007.1-5.

收稿日期: 2008-10-28; 修回日期: 2009-02-23

作者简介:

李晓明(1956-), 男, 副教授, 主要研究方向为电力系统继电保护、电力系统自动化。E-mail: lixm@sdu.edu.cn