

电气化铁路电能质量检测技术概述

张娜

(郑州铁路职业技术学院 河南郑州 451460)

摘要: 伴着我国经济的快速发展, 铁路作为我国重要的交通运输基础设施之一, 为我国经济的快速发展也奠定了强大的基础。在提倡“碳达峰、碳中和”社会背景下, 铁路方面也承担着很大的责任。但其负荷具有非线性 and 波动性, 导致大量的负序和谐波电流注入到公共电力系统中, 从而引起三相电压不平衡和各种其他电能质量问题。本文主要介绍了电能质量的五个重要指标: 电压偏差、谐波含量、电压波动与闪变、三相电压不平衡、频率偏差对电网的危害; 并介绍了电能质量的常用检测技术。

关键词: 电气化铁路; 电能质量; 检测技术

0 引言

伴着我国经济的快速发展, 铁路作为我国重要的交通运输基础设施之一, 为我国经济的快速发展也奠定了强大的基础。在提倡“碳达峰、碳中和”社会背景下, 铁路方面也承担着很大的责任。铁路一方面作为我国重要交通行业, 机车为消耗能源设施, 在降低能源损耗、增加能源利用率等方向起着很大的作用。机车采用电力进行牵引比传统的内燃牵引有更环保、能够利用多种能源并且电力牵引的功率也比较大及能源利用率也相对较高的特点, 因此电力牵引在世界各国得到了快速的发展。另一方面电气化铁路在我国铁路线路中也占相对较高的比重, 因此随着电气化铁路在我国的快速成长, 不免也会对一些方面产生影响, 比如电力牵引负荷会对供电系统的电能质量产生影响, 反之电能质量的好坏也会影响着机车的运行, 因此这部分影响也受到了相关学者专家的关注^[1,2]。电力牵引负荷的功率较大是一种单相的非线性冲击负荷, 会产生负序电流流入电网中, 从而造成电力系统处于三相不对称且出现高次谐波, 进而造成电网电压波形出现畸变而影响电网电能质量。根据以上分析, 电力牵引负荷主要以其负序、谐波、电压波动以及无功影响着电能质量, 但以负序及谐波影响程度最大, 所以想要降低电力牵引负荷对电能质量的影响我们主要从其产生的负序和谐波方面进行研究。我国中原地区的电气化铁路相对比较发达, 但这些地区也因此会受电力牵引负荷较大的影响和危害。电气化铁路的谐波和负序不仅会造成电力系统的大范围的断电故障, 而且还由其产生的谐振或保护误动作对发电机转子造成破坏和影响电气化铁路接入电网。因此, 电力相关部门在保证能够安全可靠经济的向电气化铁路机车供电的前提下也能够保障电网和机组不受其影响能够安全稳定经济的运行是目前值得研究的课题。目前世界各国均已颁布了谐波和负序限制的措施, 所以研究谐波和负序问题在学术界也得到了极大的重视。

1 电能质量介绍

电能作为一种清洁能源具有即发即用的特点, 我们都知道电能是不能大量储存的, 而且电能可以转换成其他形式进而完成某些需求, 在我国国民经济中占有不可或缺的位置。那么电能作为这么重要的能源形式, 电能质量的好坏是如何进行评判的, 通过研究发现电能质量的好坏可以通过五个指标进行衡量, 这五个重要指标^[3]主要包括: 1) 电压偏差; 2) 谐波含量; 3) 电压波动与闪变; 4) 三相电压不平衡; 5) 频率偏差。

1.1 电压偏差

电压作为电能传输过程中的重要指标之一, 电压偏差可以用来衡量电力系统是否在进行正常供电及电能质量好坏的重要指标。

电压偏差过大会影响电气设备的用电安全以及电网的安全稳定经济的运行, 下面我们具体分析电压偏差过大的危害。

1) 对用电设备

每一种用电设备生产制造并出厂时均已设定好了额定电压。所以当通过某种用电设备电压偏离额定电压过大时, 就会对这个用电设备的性能好坏产生影响, 使其运行性能变差并且运行效率也会降低, 严重的情况下会使用电设备直接损坏。当电压降低时, 设备的运行效率跟着其发热情况的下降而降低。在电压过低情况下会使供电系统中大量的电动机绕组升温, 进而使发动机的老化速度加快, 降低使用年限, 更甚时会直接导致电动机报废; 电压过高情况下, 流过电动机的电流会增大而出现过大电流现象, 这种情况也会降低电动机的使用年限。综上分析, 电压偏差过大会大大降低用电设备的运行效率和使用年限。

2) 对电网

电力系统输电线路的输送功率受制于功率的稳定极限的情况, 输电线路的功率稳定极限可分为静态稳定极限和动态稳定极限, 其中静态稳定功率极限与线路电压的平方构成正比例关系, 所以线路电压的高低均会对线路的功率极限值产生影响。当线路电压过低时, 会降低线路上的功率极限值, 从而使供电系统的频率出现输送不稳定情况, 严重时会使系统频率瓦解。由于电力系统与用电用户联系较为紧密, 一旦电力系统出现频率不稳定和电压不稳定都会对人民的生活带来严重的损伤。当线路电压过高时, 个用电设备会出现绝缘损坏的现象进而产生谐波, 如果发生磁谐振, 也会对电力线路的正常运行产生影响。

综上所述, 电压偏差过大时会影响电力系统的安全稳定运行, 其实电压偏差过大还会影响系统的经济性, 比如当线路的输送功率为定值时, 线路电压偏低时会增加电网的功率损耗, 线路电压偏高时, 线路上出现电晕现象, 电晕损耗也会增加, 所以不管是电压偏低还是电压偏高均会增加供电成本。

1.2 谐波

谐波是电力系统电压波形的畸变率, 反应电压波形的缓慢变化情况。在电力系统中一旦出现谐波, 同样会对系统带来危害:

1) 谐波会产生谐波网损即谐波会在变压器或者运行线路上出现谐波附加损耗, 而谐波附加损耗会增加电网损耗, 除外, 谐波不仅在变压器上出现谐波附加损耗, 还会使变压器出现振动和噪声。

2) 谐波谐振和谐波放大大会击穿电力电缆造成网损增加。

3) 谐波会使电动机的旋转电机里的铁芯和定子绕组出现谐波附加损耗, 进而引起电动机发热, 同样还会使对应机组出现振动和噪声现象。

4) 谐波会干扰继电保护或者自动装置, 使其出现误动现象。在输电线路中如果出现装置误动会对线路产生不好的影响, 比如继电保护误动可能会增大线路停电机率, 自动装置误动会使线路设备出现故障, 进而影响线路的正常运行。

除以上危害外, 谐波还会对测量仪表、电能计量等二次设备产生危害。

1.3 电压波动与闪变

电压波动表示电压在一段时间内与额定电压相比变化的程度, 电压的闪变就代表当电压发生波动且是冲击性波动时反映到人们视觉可以观察到的设备上(如灯或者电光变换器)的闪烁情况。一般人的眼睛在电压波动频率为 10Hz 上下范围内时反应最敏感。经以上分析可知电压产生的波动越大越容易产生电压闪变, 因此电压波动会使很多电器设备处于不正常运行状态, 如:

1) 自动控制设备、计算机等设备处于不正常运行状态;

2) 电动机在不均匀转速状态下进行运转, 从而影响安全运行, 进而使产品质量出现问题;

3) 产生的灯光闪烁影响人们的眼睛;

4) 反映到电视上会使其画面亮度发生变化。

最后的这两种情况均会使人们的眼睛出现不适, 或者出现视觉疲劳。

1.4 三相电压不平衡

三相不平衡是指在电力系统处于正常运行状态时, 电量负序分量的均方根值和其正序分量的均方根值的比值。三相不平衡的出现带来的危害有:

1) 增加线路的电能损耗

在三相四线制供电网络中, 电流通过线路导线时, 因存在阻抗必将产生电能损耗, 其损耗与通过电流的平方成正比, 当相电流平衡的时候,

系统的电能损耗最小,如果三相电流不平衡时比平衡状态的损耗增加,在最严重的状态下会比平衡状态的损耗增加3倍。可见不平衡度越严重,所造成的损耗越大。

2) 降低配变变压器出力以及增加铁损

当配变处于三项负载不平衡工况下运行时,负载清的一相就有富余的容量,从而使配变的出力减少,其处理减少的程度与三相负载的不平衡度有关,三相负载不平衡越大,配变出力减少越多,其过载能力也会变化,假如配变在过载工况下运行,即极易引发配变发热,严重时甚至会造成配变烧损。

3) 电动机效率降低

由于不平衡电压存在着正序、负序、零序三个电压分量,当这种不平衡的电压输入电动机后,负序电压产生旋转磁场与正序电压产生的旋转磁场相反,起到制动作用,所以电动机在三相电压不平衡状况下运行,是非常不经济和不安全的。

4) 影响用电设备的安全运行

三相负荷不平衡,轻则降低线路和配电变压器的供电效率,重则会因重负荷相超载过多,可能造成某相导线烧断、开关烧坏甚至配电变压器单相烧坏等严重后果。

5) 影响用户用电质量

当三相负荷严重不对称,中性点电位就会发生偏移,线路压降和功率损失就会大大增加。接在重负荷相的单相用户易出现电压偏低,电灯不亮、电器效能降低、小水泵易烧毁等问题,而接在轻负荷相的单相用户易出现电压偏高,可能造成电器绝缘击穿、缩短电器使用寿命或损坏电器。对动力用户来说,三相电压不平衡,会引起电机过热现象。所以只有三相负荷平衡才能保证用户的电能质量。

6) 影响电能计量影响

根据对称分量法,三相不平衡电流可以分解为三相平衡的正序、负序、和零序三个分量。负序和零序电流分量的存在必然会对计量仪表的精度产生影响。即使在高压侧,虽然零序电流在变压器内环流,不会向系统传递,但负序电流分量可以毫无阻碍地向系统传递,因此仍然会对计量仪表的精度产生影响。

2 电能质量检测方法

电力系统的暂态和稳态状态中出现的每次扰动均可能会导致电能质量问题的产生。其中处于稳态时的电能质量表现在波形的畸变,暂态时的电能质量主要表现在频谱及暂态所持续的时间长短。综上所述,提出以下检测电能质量的方法:

2.1 时域检测法

经过大量的文献阅读发现在电能质量检测过程中时域检测法使用最多,主要方法有:基于瞬时无功功率理论、 $p-q-r$ 功率理论、FBD法^[4,5]。

1) 基于瞬时无功功率理论检测方法

基于瞬时无功功率理论的检测方法通常用于三相电路的检测。在单相电路中若想用此方法,需要额外建立两相电流,这样就可以建成三相系统,从而采用三相瞬时无功功率理论检测方法检测出单相电流。但此方法应用于单相电路中时有很大的缺点:建立三相系统较复杂,并存在很大的延时问题。

2) $p-q-r$ 功率理论

此种检测方法根据上述第一种检测方法得到有功功率 p 及无功功率 q ,在正序回路中可得到正序有功、无功功率,然后通过低通滤波器得到其对应的直流分量,用相同的理论可知,在负序回路中可得到负序有功、无功功率,然后通过低通滤波器得到其对应的直流分量。在三相电网电压正常时可计算出三相基波正负序电流,从而得到高次谐波电流分量。

3) FBD法

它适用于多相电路和单相电路的电流检测,德国学者最先提出这种检测方法。根据此方法,我国研究学者进一步提出了直接法和间接法这两种实时监测的方法。其中直接法的使用前提是电压波形无畸变的状态,直接法检测到的功率电流波形和实际电压波形相同;而间接法在使用的时候需要通过锁相环产生参考电压波形,检测到的功率电流波形和参考电压波形相同,此方法应用范围较广泛。

2.2 频域检测法

频域检测法主要针对电能质量中谐波问题进行分析,主要方法包括频率扫描、谐波潮流计算等。

1) 频率扫描

当注入电流的频率在一定范围内变动时,可得相应谐波阻抗一频率的分布图,从图中曲线的谷值和峰值可确定该节点发生串、并联谐振的频率。

2) 谐波潮流计算

常规谐波潮流:优点,方法简单,适用范围较广,所以此种方法常被应用;缺点,在特殊状况下,采用此方法非线性负载控制系统的误差较大。

混合谐波潮流:优点,可精确描述非线性负载控制系统的动态特性;缺点是计算量大,求解过程复杂。

2.3 基于变换的方法

基于变换的方法主要指快速 Fourier 变换方法、短时 Fourier 变换方法、小波变换方法^[6]。

1) 快速 Fourier 变换方法

此变换方法是在傅氏变换法的基础上改进的,具有正交、完备等优点,在电能质量分析方面应用广泛。

但在运用快速 Fourier 变换方法时,需要满足以下条件:

a. 采样频率需要高于最高信号频率的两倍;

b. 对波形的要求需要为稳态的并且随时间进行周期性变化的。

如果不满足上述条件时,采用此方法会出现频谱泄露的情况,从而给分析结果出现误差,所以采用此方法时必须满足以上两个条件。

2) 短时 Fourier 变换方法

短时 Fourier 变换方法利用加窗可以解决快速 Fourier 变换方法可能出现的误差问题,也就是把不平衡的状态分割成多个短时平稳的状态集合,然后在进行分析。此方法的使用场合为分析特征尺度大致相同的过程,对于多尺度过程和突变过程的局限性,并且算法由于没有正交展开很难实现高效率计算。

3) 小波变换方法

小波变换方法目前主要应用于信号分析、数据压缩等领域。其特点有:

a. 小波函数有较快的衰减速度;

b. 具有时一频局部化的特点,对分析突变信号和不平稳信号有很强的特征;

c. 在暂态过程分析领域优点突出。

d. 频域分析可能会造成误差,如果想要采用小波变换法来减少这个误差,需要建立一个极数将分频能量集中,但目前这种小波极数还没有被专家学者发现。

近年来,学者专家通过大量文献在电能质量评估、电磁暂态波形分析和电力系统扰动建模等电能质量问题上采用小波变换的方法进行分析,均得到了不错的结论。

3 结论

1) 本文主要从电气化铁路机车的供电系统出发,分析了其供电的电能质量问题,并详细分析了影响电能质量问题的五个重要指标的概念及对接入的电力系统的危害;

2) 接着提出检测电能质量的常用方法:

a. 时域检测法:基于瞬时无功功率理论、 $p-q-r$ 功率理论、FBD法;

b. 频域检测法:频率扫描、谐波潮流计算;

c. 基于变换的方法:快速 Fourier 变换方法、短时 Fourier 变换方法、小波变换方法。

参考文献:

[1] 张建雄, 王果. 高速铁路电能质量评估与研究[J]. 电气化铁道, 2022, 33(S01):5.

[2] 刘莹. 电气化铁路接入对电网电能质量的影响评估及治理研究[D]. 山东大学, 2014.

[3] 林海雪. 论电能质量标准[J]. 中国电力, 1997, 30(3):2.

[4] 董祥, 李群湛, 黄军, 等. 适用于电气化铁路的无功谐波电流检测方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(6):4.

[5] 罗昕, 李成君, 孔令军. 一种改进的 FBD 谐波电流检测方法研究[J]. 电气传动, 2013, 43(12):5.

[6] 房国志, 杨超, 赵洪. 基于 FFT 和小波包变换的电力系统谐波检测方法[J]. 2012.

作者简介: 张娜(1990-), 女, 河南郑州人, 助教, 铁路稳定运行与管理