

35kV及以下系统谐振过电压的危害及控制

李冬梅

银川市立恒电气设备有限公司 宁夏 银川 750200

摘要：本文针对35kV及以下系统中的谐振过电压现象，系统阐述其产生原理、危害特性，并深入探讨有效的控制措施。通过对系统中电感、电容元件参数特性的分析，剖析谐振过电压形成机制，明确其对电力设备绝缘、系统稳定运行等方面造成的严重危害。同时，结合电力系统实际运行需求，提出包含参数优化、设备配置、运行管理等多维度的控制策略，为保障35kV及以下系统安全、稳定、高效运行提供参考。

关键词：35kV及以下系统；谐振过电压；危害；控制措施

引言

在35kV及以下电力系统中，谐振过电压是影响系统安全稳定运行的重要因素之一。随着电力系统规模的不断扩大、设备类型的日益复杂，系统中电感、电容元件的组合情况愈发多样，这增加了谐振过电压发生的概率。谐振过电压的产生，会使系统中部分电气设备承受过高的电压，进而威胁设备绝缘安全，甚至可能引发系统故障，造成大面积停电等严重后果。因此，深入研究35kV及以下系统谐振过电压的危害及控制措施，对保障电力系统的可靠运行具有重要的现实意义。

1 35kV及以下系统谐振过电压产生原理

1.1 系统中的电感与电容元件

在35kV及以下系统中，存在多种电感和电容元件。电感元件主要包括电力变压器的励磁电感、电磁式电压互感器的励磁电感以及电抗器的电感等。其中，电力变压器在正常运行时，其励磁电感相对稳定，但当系统发生故障或操作时，可能会出现饱和现象，导致励磁电感值发生变化。电磁式电压互感器在正常运行时工作于磁化曲线的线性段，励磁电感较大，但当系统中出现某些扰动，如系统发生单相接地故障后故障消失等情况时，电压互感器的励磁电流会急剧增大，使铁芯进入饱和状态，励磁电感显著下降。

电容元件则包括电力线路的对地电容、母线的对地电容以及电力设备的杂散电容等。电力线路的对地电容与线路长度、导线型号等因素有关，线路越长，对地电容越大。母线的对地电容主要取决于母线的结构、长度以及周围环境等因素。这些电容元件在系统中形成了分布电容网络。

1.2 谐振过电压的形成机制

当系统中的电感元件和电容元件参数满足一定条件时，会形成谐振回路。在特定的激发条件下，如系统发

生故障、断路器操作、负荷突变等，系统中会产生自由振荡。若振荡频率与系统电源频率相等或接近，就会发生谐振现象。

以铁磁谐振为例，当系统中电磁式电压互感器的励磁电感与线路对地电容发生谐振时，由于电压互感器铁芯的非线性特性，在谐振过程中，电感值会随着电流的变化而变化。当系统发生单相接地故障时，健全相电压升高，电压互感器的励磁电流增大，铁芯逐渐饱和，励磁电感减小。当电感减小到与线路对地电容满足谐振条件时，就会产生铁磁谐振过电压。此时，系统中会出现过电压和过电流，过电压幅值可达数倍的额定电压，对系统中的电气设备造成严重威胁。

2 35kV及以下系统谐振过电压的危害

2.1 对电气设备绝缘的危害

谐振过电压具有较高的幅值，会对电气设备的绝缘造成严重损害。长时间处于这种过电压状态下，电气设备的绝缘会承受极大的压力^[1]。对于电力变压器，过高的电压会使绕组的匝间、层间和相间绝缘受到损伤，加速绝缘老化，缩短变压器的使用寿命。如果绝缘损伤严重，可能会导致绕组短路，使变压器损坏。对于电力电缆，谐振过电压会使电缆的绝缘层承受过高的电场强度，导致绝缘局部放电。局部放电的持续发展会使绝缘层逐渐劣化，最终可能引发电缆击穿故障，造成电力供应中断。此外，对断路器、绝缘子等其他电气设备，谐振过电压也会使其绝缘性能下降，增加设备发生故障的风险。

2.2 对系统保护装置的影响

谐振过电压会导致系统中出现异常的电压和电流信号，这会对系统的保护装置产生干扰。对于继电保护装置，异常的电压和电流信号可能会使保护装置误动作或拒动作。例如，当谐振过电压导致电流互感器二次侧出

现异常大电流时,可能会使过电流保护装置误动作,将正常运行的线路或设备切除,造成不必要的停电。另一方面,若谐振过电压使电压互感器二次侧电压畸变,导致电压信号异常,可能会使距离保护、方向保护等依赖电压信号的保护装置拒动作,无法及时切除故障设备,从而扩大故障范围,对系统的安全稳定运行造成严重威胁。

2.3 对系统稳定运行的威胁

谐振过电压会对35kV及以下系统的稳定运行产生多方面的威胁。在谐振过程中,系统中的电压和电流会发生剧烈波动,导致系统的功率平衡被打破。有功功率和无功功率的振荡会使发电机的转子受到周期性的电磁力矩作用。当这种电磁力矩的频率与发电机转子的固有频率接近时,可能会引发电机的振荡,严重时甚至会导致发电机失去同步,破坏系统的稳定运行。此外,谐振过电压还可能导致系统中部分设备过载运行。由于过电压会使线路电流增大,超过设备的额定载流量,这会加速线路和设备的老化,增加设备发生故障的风险。同时,过载运行还可能引发设备发热,进一步降低设备的绝缘性能,甚至可能引发火灾等严重事故。另外,谐振过电压会导致系统中谐波含量增加,谐波的存在会影响系统的电能质量,干扰其他电气设备的正常运行,对系统的稳定运行构成潜在威胁。

2.4 对通信系统的干扰

35kV及以下电力系统中的谐振过电压会产生较强的电磁干扰,这些电磁干扰会对附近的通信系统造成严重影响^[2]。电力系统中的电磁干扰主要通过电磁耦合、静电耦合等方式传播到通信线路和通信设备中。当电力线路与通信线路平行架设时,谐振过电压产生的交变磁场会通过电磁感应在通信线路上产生感应电动势,干扰通信信号的传输。同时,电力线路与通信线路之间存在的电容耦合也会使电力系统中的电压信号耦合到通信线路中,导致通信信号发生畸变、失真,降低通信质量。严重情况下,电磁干扰可能会使通信设备无法正常工作,导致通信中断,影响电力系统的调度和管理,增加系统运行的风险。

3 35kV及以下系统谐振过电压的控制措施

3.1 优化系统参数配置

优化系统参数配置是预防谐振过电压发生的重要手段。在电力系统的规划、设计和建设阶段,应充分考虑系统中电感、电容元件的参数特性,通过合理选型和配置,避免谐振条件的形成。

对于电力变压器,应选择励磁特性良好、饱和电压较高的产品。良好的励磁特性可以减少变压器在运行过

程中因铁芯饱和而导致的电感值剧烈变化,降低铁磁谐振发生的可能性。同时,合理控制电力线路的长度和结构,也是降低线路对地电容的有效措施。在满足供电需求的前提下,尽量采用较短的线路长度,或者通过优化线路的架设方式,如采用分裂导线等,降低单位长度线路的对地电容。此外,还可以通过在系统中加装并联电抗器或串联电抗器等方式,调整系统的电感参数,改变系统的谐振频率,使其远离电源频率,从而避免谐振过电压的发生。

在系统设计过程中,应进行详细的电磁暂态分析和仿真计算,通过对不同工况下系统参数的模拟和分析,确定系统的最佳参数配置方案。同时,还应考虑系统未来的发展和变化,预留一定的参数调整空间,以适应系统运行方式的改变和设备的更新换代。

3.2 采用消弧线圈接地方式

在35kV及以下系统中,采用消弧线圈接地方式可以有效抑制谐振过电压的产生。消弧线圈是一种具有铁芯的可调电感线圈,它并联在系统的中性点与大地之间。

当系统发生单相接地故障时,接地电容电流会通过接地点流入大地。此时,消弧线圈会产生一个与接地电容电流大小相等、方向相反的电感电流,对接地电容电流进行补偿。通过合理调整消弧线圈的电感值,可以使接地处的电流减小到允许值以内,从而迅速熄灭电弧,避免因电弧重燃而引发的谐振过电压。

消弧线圈的补偿方式主要有欠补偿、过补偿和全补偿三种。在实际运行中,通常采用过补偿方式^[3]。欠补偿方式在系统运行方式改变或线路切除时,可能会使系统的电容电流减小,导致消弧线圈脱谐度增大,增加谐振过电压发生的风险。而全补偿方式在系统正常运行时,可能会因系统参数的微小变化而产生串联谐振,引发过电压。过补偿方式可以保证系统在各种运行方式下都能有效抑制谐振过电压的产生,提高系统的运行安全性和稳定性。

此外,随着技术的发展,现代消弧线圈通常配备有自动调谐装置,能够根据系统运行工况的变化,实时调整消弧线圈的电感值,使系统始终处于最佳的补偿状态,进一步提高消弧线圈抑制谐振过电压的效果。

3.3 安装过电压保护装置

安装过电压保护装置是限制谐振过电压幅值的有效措施。常见的过电压保护装置有氧化锌避雷器、阻容吸收器等。

氧化锌避雷器具有优异的非线性伏安特性。在正常运行电压下,其电阻值很大,仅有微安级的泄漏电流,

几乎不消耗能量；而当系统出现过电压时，其电阻值迅速下降，能够吸收大量的过电压能量，将过电压限制在一定范围内。氧化锌避雷器的动作迅速、残压低，能够有效地保护电气设备免受谐振过电压的侵害。在35kV及以下系统中，可根据实际情况，在电压互感器开口三角形侧、母线等位置安装氧化锌避雷器，以抑制谐振过电压对电气设备的危害。

阻容吸收器是利用电容和电阻的组合来吸收过电压能量的装置。当系统出现过电压时，电容首先对过电压进行吸收，然后通过电阻将吸收的能量消耗掉，从而达到限制过电压的目的。阻容吸收器具有响应速度快、吸收能量大等优点，能够有效地抑制谐振过电压的上升速度和幅值。在一些对过电压抑制要求较高的场合，可以将阻容吸收器与氧化锌避雷器配合使用，进一步提高过电压保护的效果。

3.4 加强运行管理与监测

加强电力系统的运行管理和监测是预防和控制谐振过电压的重要环节。运行人员应严格遵守操作规程，规范设备的操作和维护行为，避免因操作不当引发谐振过电压。例如，在进行断路器操作时，应尽量缩短操作时间，减少操作过程中产生的过电压和电磁干扰。同时，应加强对设备的日常巡检和维护，及时发现设备存在的缺陷和隐患，并采取相应的措施进行处理，确保设备的正常运行。

建立完善的在线监测系统是实现谐振过电压有效监测的关键。在线监测系统可以对系统中的电压、电流、谐波等参数进行实时监测和分析。通过对监测数据的处理和分析，能够及时发现系统中可能存在的谐振隐患，并发出预警信号。例如，当监测到系统中电压互感器的励磁电流异常增大时，应及时分析原因，判断是否存在铁磁谐振的可能，并采取调整运行方式或投入过电压保护装置等措施，防止谐振过电压的发生。

此外，还应定期对电气设备进行试验和检修，通过绝缘试验、特性试验等手段，检测设备的绝缘性能和运行状态^[4]。对发现的问题及时进行处理，确保设备的绝缘性能良好，提高系统抵御谐振过电压的能力。同时，加强对运行人员的培训和教育，提高其对谐振过电压的认识和应对能力，使其能够在故障发生时迅速、准确地采取措施，保障系统的安全运行。

3.5 采用快速继电保护与自动重合闸技术

快速继电保护装置能够在系统发生故障时迅速动作，切除故障设备，减少故障对系统的影响，从而降低谐振过电压发生的概率。快速继电保护装置具有动作速度快、灵敏度高的特点，能够在极短的时间内检测到故障电流、电压等信号，并发出跳闸信号，使断路器迅速断开，切除故障线路。通过快速切除故障，能够避免故障的扩大和恶化，减少系统中因故障引发的过电压和电磁干扰，降低谐振过电压发生的可能性。

自动重合闸技术可以在故障切除后，自动将断路器重新合闸，恢复系统的正常运行。对于瞬时性故障，如雷击、树枝碰线等引起的故障，自动重合闸可以迅速恢复供电，避免因故障长时间存在而引发谐振过电压。在采用自动重合闸技术时，应合理设置重合闸的时间。如果重合闸时间过短，系统可能尚未完全恢复稳定，此时进行重合闸可能会再次产生过电压；如果重合闸时间过长，则会延长停电时间，影响供电可靠性。因此，需要根据系统的实际情况，通过试验和计算，确定最佳的重合闸时间，以充分发挥自动重合闸技术在抑制谐振过电压方面的作用。

结束语

综上所述，35kV及以下系统谐振过电压的危害不容忽视，其产生机制与系统元件参数及运行工况紧密相关。通过多种控制措施的协同应用，可有效抑制谐振过电压的发生与危害。在实际运行中，需依据系统具体情况灵活实施这些措施，确保电力系统稳定运行。未来，随着电力技术发展，还需持续深入研究谐振过电压特性与控制方法，以应对更复杂的电力系统运行环境，为电力系统安全运行提供更坚实保障。

参考文献

- [1]王琰.使用相控断路器抑制35kV并联电抗器操作过电压研究[J].电力设备管理,2023(3):262-264
- [2]杜严行,叶树平,马银环,陈元毅.一起35kV主变压器跳闸事故分析[J].山东电力技术,2020,47(5):56-60
- [3]魏斌,蒲军.顺北油田二区变电站35kV电压互感器烧毁故障分析[J].电气技术,2024,25(2):74-78
- [4]朱保军,咸日常,刘兴华,等.35kV PT爆炸事故及其谐振过电压分析和预防[J].高压电器,2023,59(1):185-191,197.