

# 基于电力系统电容器无功补偿与电压调整问题探究

田嘉欣

(江苏师范大学科文学院 江苏省徐州市 221006)

摘要:为了探究电力系统电容器无功补偿与电压调整的有效途径,本文分别介绍了同步调相机、并联电容器和静止无功发生器三种常见的无功补偿方式,并针对调整发电机端电压、调整变压器变比、使用补偿设备等三种电压调整策略进行了分析,以期对相关电网运行人员和研究人员在选择无功补偿装置、制定电压调整方案时提供技术参考。

关键词:电力系统;电容器无功补偿;电压调整

## 1 引言

电压的波动不仅影响用电设备的正常运行,还会降低线路传输能力、增加系统损耗,是制约电网安全经济运行的重要因素。合理调节电压水平,对于确保供电质量、减小线损、提高输电效率至关重要。随着电网规模扩大、负荷日益复杂,传统的电压调整手段已难以满足现代化需求,亟须探索更加先进、智能化的调压新技术。因此,深入分析电力系统无功补偿与电压调整的各种方式及其优缺点,具有重要的理论意义和应用价值。

## 2 电力系统电容器无功补偿方式

### 2.1 同步调相机

在电力系统中,同步调相机是一种有效的无功补偿和电压调整方式。它是一种旋转式无功功率补偿装置,由一个同步电动机和一个励磁系统组成。同步调相机通过改变同步电动机的励磁电流来控制其无功功率输出,从而实现对系统无功功率的补偿和电压的调节。当励磁电流增加时,转子绕组产生的磁场就会增强,从而增加定子绕组感应出的电动势,使得同步调相机处于过励磁状态,这时它就像一个电容器一样向系统输出无功功率。反之,当励磁电流减小时,同步调相机就会处于欠励磁状态,像一个感应系数一样从系统吸收无功功率。通过精确控制励磁电流的大小,就可以实现对系统无功功率的无级调节。同步调相机具有响应快、效率高、无级调节范围大等优点,可以满足电力系统各种工况下的无功功率补偿和电压调整要求。但是其初始投资较高、占地面积大、维护成本较高等缺点,使得目前在电力系统中的应用相对有限。

### 2.2 使用并联电容器

并联电容器是电力系统最常用的一种无功补偿和电压调整装置。它通过在系统中并联电容器组,利用电容器的滤波特性向系统补偿无功功率,从而提高系统的功率因数,减少线路损耗,调节系统电压。并联电容器补偿系统的工作原理是电容器能够储存电场能,当电容器并联到交流电源时,电容器的电流相对于电源电压相位提

前 $90^\circ$ ,因此电容器像一个无功功率源向系统提供无功功率。并联电容器组由多个较小的电容器串联而成,每个小电容器都有一个绝缘套管保护。并联电容器经常安装在变电所附近,以补偿变压器、母线和送出线路的无功功率。并联电容器无功补偿系统优点是结构简单、可靠性高、投资少、无移动部件、无噪声、维护方便等。但它也存在一些不足,如无法无级调节无功量、容量固定、补偿范围窄等。为了克服这些缺点,现代并联电容器系统往往采用分段投切或自动无级切换方式,使补偿量可以随负荷变化而动态调整。此外,还需要采取措施防止谐波电流对电容器的危害。总的来说,并联电容器因其经济实用而成为无功补偿的主力装置。

### 2.3 静止无功发生器

静止无功发生器是一种先进的固态无功补偿装置,它利用半导体器件的开关作用,无需旋转转子和励磁绕组,可以灵活调节和快速响应系统无功功率需求。静止无功发生器主要由电力电子变换器、直流能量储存装置和控制保护系统组成。静止无功发生器的工作原理是通过电力电子变换器控制直流侧电容器或电池的充放电,从而控制交流侧的无功功率输出。它可以在短时间内双向快速切换补偿量,能够有效抑制由于负荷突变或故障引起的电压暂降或过电压。直流侧的电容器组或电池不仅为无功补偿提供所需的瞬时能量,还可以储存系统潮流过程中的机械动能,具有削峰填谷的作用。静止无功发生器具有无可移动部分、体积小、维护简单、响应速度快、能量可储存等优点。但它的控制系统较为复杂,初始投资高,而且会产生一定谐波。目前,静止无功发生器主要应用于电弧炉、电驱动输电系统、柔性交流输电系统等场合,作为快速有源滤波器和动态无功补偿装置,提高电力系统的稳定性和节能效率。

## 3 电压调整的策略分析

### 3.1 改变发电机端电压调压

调整发电机励磁电流是控制电压最直接有效的方式之一。发电机的定子绕组感应出的电动势,实际上就是

电力系统的电压源。通过改变发电机转子的励磁电流大小,可以改变定子绕组中的磁通量,从而调节电网电压的水平。当需要提高电网电压时,可以增大发电机励磁绕组的励磁电流,这样就会增强转子磁场,增加定子绕组中的磁通量,使电动势相应升高。反之,当电压过高时,减小励磁电流则会降低电动势,使电压降低。发电机励磁调压虽然是最直接的调压手段,但调节范围和精度有一定局限性。一般来说,发电机励磁调压只能在 $\pm 5\%$ 左右的范围内进行调节。同时,由于励磁绕组匝数的限制,励磁电流的调整也只能是分级或分档的,无法实现无级调节。发电机励磁调压响应速度较快,通常只需几秒钟就可以完成电压调整,而且操作方便,仅需调节发电机的自动电压调节器即可。因此,发电机励磁调压通常被用于发电系统附近负荷发生变化时的初步调压,以及作为其他调压手段的辅助措施。

需要指出的是,过度增大发电机励磁电流并非没有风险。过励磁会导致发电机绝缘受力加大、铁心发热增高,甚至可能引起并联电容器开始并网谐振。因此,励磁调压通常只适用于暂时性、小幅度的调压需求,对于大范围、持久性的调压需求,需要与其他调压手段配合使用。

### 3.2 调整变压器变比

变压器的变比是控制变压器输出电压的主要手段。通过更改变压器的分接头位置,可以相应地改变变压器的绕组匝数比,进而实现对次级侧电压的调节。这种通过改变变压器变比来调整电压的方法,广泛应用于电力系统的各个环节。绝大多数现代变压器都设计有分接头开关,使用时将变压器分接头切换到不同的位置,等于是在改变了变压器的变比,进而改变了次级侧的电压。假设变压器原有变比为 $a$ ,切换到新的分接头位置后新的变比变为 $b$ ,则次级电压将按 $b/a$ 的比例相应升高或降低。根据分接头开关的类型不同,分接头位置的调整可以在变压器带负荷时进行(无挡调压),也可以要求变压器先卸载后再切换分接头位置(有挡调压)。通常情况下,为了确保操作安全,变压器在调节分接头前都需要先卸载。变压器分接头调压的优点是实现方便、调压线性、投资低。缺点是只能实现分级调压而不是无级调节,调压范围由分接头挡位数量决定,一般在 $\pm 10\%$ 左右。此外,分接头开关操作存在一定故障风险,对变压器绝缘也会产生冲击。因此,变压器分接头调压主要适用于对电压的小幅调节和暂时性补偿,如应对负荷的日周期变化等。而对于大范围或急剧的电压波动,则需要与其他调压手段配合使用。值得一提的是,在特高压输电线路路上,由于变压器容量大、绝缘级别高,一般都不设置分接头开关,而是采用其他调压措施。

### 3.3 补偿设备调压

通过并联无功补偿装置,可以补偿线路或负荷所需的无功功率,从而达到调节电压的目的。这种调压方式不但具有调压范围大、效果明显的优点,而且还可以改善电力系统的功因数,降低线路损耗,是当前最为常用的调压手段之一。并联电容器是最常见的无功补偿装置。它的工作原理是,电容器可以在交流电路中提供无功电流,相当于向系统注入无功功率。适当投入并联电容器组后,由于线路或负荷处无功功率得到补偿,电压自然会有所升高。反之,如需降低电压,可以切除部分并联电容器。除了传统的电容器组外,近年来发展起来的静止无功发生器(SVG)、静止同步补偿器(STATCOM)等先进补偿设备也可以实现对电压的快速精准调节。这些装置主要利用功率电子技术,通过控制电能的无功分量来调节无功功率的输出。与电容器不同,它们的无功量可以在很宽的范围内无级调节,响应速度快,但控制系统相对复杂,初始投资较高。应用无功补偿设备调压的优点是,可以在不改变电网实际布线的情况下,仅通过投切补偿设备就可以较大幅度地调整电压,且能够快速响应。但同时也要防范一些潜在的风险,如电容器可能会引入谐波电流、影响电能计量精度等,对此需要采取必要的抑制措施。无功补偿调压的适用范围相当广泛,既可以应对线路端或变电站端电压偏低的情况,也可以解决负荷区域电压过低的问题。通过合理设置补偿装置的位置和容量,可以显著改善电网的电压分布形势。

## 4 结束语

综上所述,无功补偿是调节电压的主要手段,常见方式有并联电容器、同步调相机和静止无功发生器等。而电压调整的策略则更为多样,既有改变发电机励磁、调整变压器变比等传统方法,也有应用先进的无功补偿装置、动态无功补偿等新技术。各种方法在调压范围、响应速度、经济性等方面存在差异,需要根据实际需求进行合理选择或组合使用。未来,采用人工智能优化算法、物联网技术等,将使电压调整更加智能化、自动化,为实现智能电网奠定坚实基础。

### 参考文献:

- [1]刘阳.基于电力系统电容器无功补偿与电压调整问题的探讨[J].现代国企研究,2018,(04):122.
- [2]徐志静.基于电力系统电容器无功补偿与电压调整问题的探讨[J].现代国企研究,2017,(02):210+212.
- [3]阮湘梅.基于电力系统电容器无功补偿与电压调整问题的探讨[J].湖南水利水电,2007,(03):81-83.

作者简介:姓名:田嘉欣(2002年5月-),性别:女,民族:汉,籍贯:河南省驻马店市,学历:本科。