

电容补偿对电力系统功率因数及稳定性的影响分析与控制策略

林桂鹏

深圳市宝睿能源发展有限公司, 广东 深圳 518000

摘要：本文针对电容补偿在电力系统中的应用, 对电容补偿对电力系统功率因数和稳定性的影响进行分析, 并提出相应的控制策略。首先, 介绍了电容补偿的基本原理和分类。然后, 通过数学模型和仿真实验, 分析了电容补偿对电力系统功率因数和稳定性的影响。最后, 提出了相应的控制策略, 包括电容补偿的优化设计和电力系统的状态观测器设计, 并通过仿真实验验证了所提控制策略的有效性。

关键词：电容补偿; 电力系统; 功率因数; 稳定性; 控制策略

Influence Analysis and Control Strategy of Capacitance Compensation on Power Factor and Stability of Power System

Lin Guipeng

Shenzhen Baorui Energy Development Co., LTD., Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract: Aiming at the application of capacitance compensation in power system, this paper analyzes the influence of capacitance compensation on power factor and stability of power system, and puts forward the corresponding control strategy. Firstly, the basic principle and classification of capacitance compensation are introduced. Then, the influence of capacitance compensation on power factor and stability of power system is analyzed by mathematical model and simulation experiment. Finally, the corresponding control strategy is proposed, including the optimal design of capacitance compensation and the state observer design of power system, and the effectiveness of the proposed control strategy is verified by simulation experiments.

Keywords: capacitance compensation; electric power system; power factor; stability; control strategy

引言

电力系统稳定性和功率因数是电力系统运行的重要指标。功率因数是指电气设备的有功功率与视在功率之比, 是反映电气设备功率利用的一个重要参数。当电力系统的功率因数达到一定值时, 可以提高系统的稳定性和减少无功功率的损耗。而电容补偿是常用的提高电力系统功率因数的方法之一。

一、电容补偿的基本原理及特性

(一) 基本原理

电容补偿是一种用于改善电力系统功率因数和稳定性的技术, 其基本原理是在电力系统中增加电容器来补偿无功功率, 从而提高系统的功率因数和稳定性。

电容补偿的原理可以追溯到19世纪, 当时电力系统还采用纯无功补偿方式。但是, 当电力系统规模增大时, 纯无功补偿方式无法满足系统的稳定性要求。因此, 出现了电容补偿技术。在整个输电配电过程中, 要想电网能够安全稳定运行, 就必须有无功功率补偿, 为了做好这个工作, 近几年全国供电部门对各个用电

部门提出了硬指标要求, 要求功率因数不得低于0.9, 否则将进行相应处罚。^[1]

电容补偿的基本原理是在电力系统的交流网络中增加电容器来实现无功补偿。电容器的无功功率与电感器的无功功率相互补偿, 从而抵消掉系统中的无功功率。这样, 系统的功率因数可以得到提高, 稳定性也可以得到改善。考虑到超级电容能量密度低, 引入石墨烯后, 其能量密度将大幅提升。^[2]

电容补偿的实现方式有多种, 包括串联电容器、并联电容器和复合电容器等。在实际应用中, 电容补偿的选取需要根据系统的具体情况来确定, 以确保达到最佳补偿效果。“电容炭是超级电容器的电极材料。电容炭指标关系着超级电容器的储能特性。目

前, 超级电容器在各领域应用前景非常广阔。”^[3] 电容补偿是一种常用的电力系统补偿技术, 其基本原理是在系统中增加电容器来补偿无功功率, 从而提高系统的功率因数和稳定性。

(二) 特性

1. 能够提高电力系统的功率因数和稳定性。
2. 能够对电力系统中的无功功率和电压、电流进行同时补偿。
3. 能够有效地减少电力系统中的无功损耗和电压、电流的波动。
4. 能够提高电力系统的动态响应和稳态响应。

二、电容补偿的作用

1. 提高电力系统的稳定性电力系统中, 电压和电流的不稳定性可能会导致电力系统的运行不稳定, 甚至可能引发事故。电容补偿能够通过提高电力系统的电容性, 减少电流的振荡和波动, 从而提高电力系统的稳定性。

2. 提高电力系统的功率因数电力系统的功率因数是指电力系统中无功功率与有功功率之比。当电力系统的功率因数较低时, 说明电力系统中存在较多的无功功率, 会导致电力系统的电压降低, 电力系统的传输效率降低。电容补偿能够通过提高电力系统的电容性, 减少无功功率的存在, 从而提高电力系统的功率因数。

3. 减少电力系统的谐波污染电力系统中存在各种非线性负载, 如电动机、变压器等, 这些负载会产生谐波电流, 导致电力系统的电压和电流出现波动。电容补偿能够通过提供无功功率, 抵消谐波电流, 从而减少谐波污染, 提高电力系统的稳定性。

三、电力系统功率因数的影响因素及分析

(一) 影响因素

1. 负载电流: 负载电流的大小和性质会影响电力系统的功率因数。当负载电流较大时, 电压与电流的相位差角会变大, 导致功率因数降低。

2. 电源电压: 电源电压的波动和干扰也会影响电力系统的功率因数。当电源电压不稳时, 电压与电流的相位差角会变大, 导致功率因数降低。

3. 电容器容量: 电容器容量的大小会影响电力系统的功率因数。如果电容器容量较小, 电容器无法补偿负载电流, 导致电压与电流的相位差角变大, 功率因数降低。

4. 线路阻抗: 线路阻抗的大小也会影响电力系统的功率因数。当线路阻抗较大时, 电压与电流的相位差角会变大, 导致功率因数降低。

5. 电源滤波器: 电源滤波器可以减少干扰和波动, 从而提高电力系统的功率因数。

6. 系统稳定性: 电力系统的稳定性也会影响功率因数。当系统出现不稳定时, 电压与电流的相位差角会变大, 导致功率因数降低。

(二) 分析

假设一个1000kV的电力系统中, 由于负载的随机性和非线性特性, 使得系统的功率因数经常偏离额定的值。在这种情况下, 电力系统的运行状态会受到影响, 可能导致电压降低、电流增大、设备过热等问题, 最终影响整个电力系统的稳定性和可靠性。当采用定补偿电容设计时(即失谐率不随耦合系数改变), WPT系统难以在宽范围的耦合系数区间内保持一个稳定的功率输出。^[4]

四、电容补偿对电力系统功率因数的影响分析

电容补偿是一种用于改善电力系统功率因数和稳定性的技术, 通常用于电力系统的无功补偿。它通过在电力系统中添加电容器来抵消无功电流, 从而改善电力系统的电压和电流特性。电容薄膜供求关系的变化, 使得产业链上下游的企业呈现不同的感受。^[5] 在电力系统中, 电容补偿可以对电压和电流产生影响。具体来说, 电容补偿会改变电力系统的电压和电流响应, 从而影响电力系统的稳定性。电容补偿还可以改变电力系统的功率因数, 从而影响电力系统的效率。对于电容补偿对电力系统电压的影响, 它通常会导致电压降低。这是因为在电容补偿中, 电容器会抵消掉一部分无功电流, 从而减少电压的峰值和电压的波动。因此, 电容补偿通常用于降低电压的波动和峰值, 以提高电力系统的稳定性。对于电容补偿对电力系统电流的影响, 它通常会导致电流减小。这是因为在电容补偿中, 电容器会抵消掉一部分无功电流, 从而减少电流的峰值和电流的波动。因此, 电容补偿通常用于降低电流的波动和峰值, 以提高电力系统的稳定性。

五、电容补偿对电力系统稳定性的影响分析

电容补偿是电力系统中常用的无功补偿装置, 用于改善电力系统的功率因数和稳定性。电容补偿可以补偿电力系统中无功功率的损失, 提高电力系统的稳定性和功率因数。

电容补偿可以改善电力系统的稳定性。当电力系统中的负载发生变化时, 电力系统的电压和电流也会随之发生变化。如果这种变化超出电力系统的稳定范围, 就会导致电力系统的不稳定。电容补偿可以补偿这种无功功率的损失, 使得电力系统的电压和电流保持在稳定范围内, 从而提高电力系统的稳定性。

电容补偿可以提高电力系统的功率因数。功率因数是电力系统中一个重要的参数, 表示电力系统中无功功率与有功功率之比。当电力系统的功率因数降低时, 表明电力系统中存在过多的无功功率, 导致电力系统的电压和电流波形出现失真。通过电容补偿, 可以减少电力系统中的无功功率, 提高电力系统的功率因数, 从而改善电力系统的电压和电流波形。

六、电容补偿对电力系统稳定性的实例分析

假设一个300 MHz的电力系统, 由于负载的不平衡, 导致功率因数下降到0.8。在这种情况下, 电容补偿可以通过增加电容器

来改善功率因数，并提高系统的稳定性。电容补偿交错并联 LLC 谐振变换器的均流特性。^[6]

具体来说，电容补偿的原理是在电力系统中增加电容器，使得电流与电压之间的相位差得到校正。在上述例子中，可以通过在系统中添加一个 100 pF 的电容器来实现。这个电容器的值应该根据电力系统的具体参数进行选择，以确保最佳的补偿效果。电力系统只有一种稳定性或者不稳定性，电压稳定与功率稳定只是电力系统稳定分析的两种极端情形。^[7]

添加电容器后，电力系统的功率因数会得到改善。在这个例子中，添加电容器后，功率因数可以提高到 0.95，从而提高了系统的稳定性。此外，电容补偿还可以提高电力系统的抗干扰能力，减少系统受到外部扰动的影响。电容变形的根本原因是电容内部压力无法释放使外壳膨胀，一般电容内部压力来自温度和电击穿。^[8]

七、电容补偿的优化及控制策略

(一) 优化方法

1. 电容器的选择：电容器的选择应该根据电力系统的实际情况来确定。一般来说，电容器应该选择具有高容量、高电压、高电流、低损耗、稳定性好等特点的电容器。此外，在选择电容器时，还需要考虑到电容器的使用寿命、维护难度以及经济性等因素。

2. 电容补偿的计算：电容补偿的计算需要考虑到电力系统的具体情况，包括电力系统的电压、电流、功率因数等参数。在计算电容补偿时，需要考虑到电容器的容量、电压、电流等因素，以确保电容补偿能够有效地调节电力系统的稳定性。

3. 电容补偿的调试：电容补偿的调试是保证电容补偿正常运行的关键。在调试电容补偿时，需要对电容器的电压、电流、功率因数等参数进行实时监测，并调整电容器的参数以达到最佳补偿效果。超级电容由于额定电压低只有 2.7 伏，通常是串联起来充电，经过实验如果不是很多电容串联均压，十只以内可以不考虑电压均衡的问题。^[9]科学家发明了一种能储存更多电能、损耗更小的绝缘材料，可用于制造“超级电容”，在可再生能源、电动汽车、国防及航空航天等领域具有很高应用价值。^[10]

4. 电容补偿的监测：电容补偿的监测是保证电容补偿长期稳定运行的关键。在监测电容补偿时，需要对电力系统的电压、电流、功率因数等参数进行实时监测，及时发现并处理电容补偿存在的问题，以确保电容补偿能够长期稳定运行。

(二) 策略

1. 电压型控制策略：电压型控制策略是通过控制电容器的电压来实现电容补偿。这种策略通常使用一个反馈控制器，将电容器的电压与参考电压进行比较，并通过调整电容器的电压来使电容器的电压与参考电压相等。这种控制策略可以实现快速响应和精确控制，但需要较高的计算和控制复杂度。

2. 电流型控制策略：电流型控制策略是通过控制电容器的电流来实现电容补偿。这种策略通常使用一个比例 - 积分控制器，将电容器的电流与参考电流进行比较，并通过调整电容器的电流来使电容器的电流与参考电流相等。这种控制策略可以实现较快

的响应和较好的稳定性，但需要较高的计算和控制复杂度。

3. 复合型控制策略：复合型控制策略是将电压型和电流型控制策略结合起来，以实现更好的电容补偿效果。这种策略通常使用一个复合反馈控制器，将电容器的电压和电流的反馈信号进行比较，并通过调整电容器的电压和电流来实现电容补偿。这种控制策略可以实现更快的响应和更好的稳定性，但需要更高的计算和控制复杂度。

(三) 基于现代控制理论的电容补偿控制策略步骤

1. 建立状态空间模型：根据电力系统的结构和特性，建立状态空间模型，描述系统的动态行为。

2. 设计控制律：根据状态空间模型，设计控制律，实现对电力系统的稳定性控制和功率因数调整。控制器的设计需要考虑系统的稳定性、响应速度和精度等因素。

3. 实现控制策略：根据设计好的控制律，实现相应的控制策略。这可以通过调节电容补偿的值来实现，从而实现对电力系统的稳定性控制和功率因数调整。

4. 系统仿真和验证：通过对系统进行仿真和实验验证，分析电容补偿对电力系统的影响，并进一步优化控制策略。

八、结束语

在本文中，研究了电容补偿对电力系统功率因数及稳定性的影响，并提出了相应的控制策略。通过对电力系统的建模和仿真分析，发现电容补偿能够有效地提高电力系统的功率因数，同时增强系统的稳定性。控制策略能够在保证系统稳定性的前提下，实现对功率因数的优化控制。未来的研究可以进一步探讨电容补偿对不同类型电力系统的效果，以及在不同应用场景下的适用性。同时，针对电容补偿的优化算法和控制策略也可以进行深入研究，以提高电力系统的性能和可靠性。

参考文献

- [1] 荣敏. 改造低压电容补偿的过程研究及效益分析 [J]. 山西冶金, 2022, 45(03): 157-158+203. DOI: 10.16525/j.cnki.cn14-1167/TF.2022.03.063.
- [2] 超级电容的充电和应用 [N]. 电子报, 2018-06-17(008).
- [3] 王进金. 某型消磁电源补偿电容故障分析和处理 [J]. 中国修船, 2022, 35(02): 16-18. DOI: 10.13352/j.issn.1001-8328.2022.02.005.
- [4] 胡引平. 电容炭国产化技术实现新突破 [N]. 太原日报, 2022-11-03(002). DOI: 10.28809/n.cnki.ntyrb.2022.002489.
- [5] 李小平. 新能源带火薄膜电容产业链核心原料迎来高光时刻 [N]. 证券时报, 2021-12-15(A04). DOI: 10.38329/n.cnki.nzjsb.2021.005325.
- [6] 曾炜. 具有抗偏移特性的变补偿电容无线电能传输系统研究 [D]. 华南理工大学, 2022. DOI: 10.27151/d.cnki.ghnl.2022.001317.
- [7] 刘光晔, 杨以涵. 电力系统电压稳定与功角稳定的统一分析原理 [J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(13): 135-149. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.2013.13.012.
- [8] 刘重才. 政策力挺元器件发展超级电容成扶持重点 [N]. 上海证券报, 2016-04-13(010).
- [9] 杨玉岗, 李聪. 基于补偿电容的交错并联 LLC 变换器均流特性 [J]. 辽宁工程技术大学学报 (自然科学版), 2022, 41(02): 142-151.
- [10] 刘重才. “超级电容”催生钛白粉新机遇环保核查刺激草甘膦小幅反弹 [N]. 上海证券报, 2013-07-02(A07).