

基于 SVC 的配电网无功补偿电路设计

王沁竹

(西安科技大学高新学院, 陕西 西安 710000)

摘要: 本课题是基于 SVC 的配电网无功补偿电路设计, 主要针对当前配电网无功功率对电网的影响, 设计了一种无功补偿电路。目的是减少因为无功功率存在引起的电网线路能量损失, 提高电力系统的功率因数, 从而提高电网能量的利用率, 使电网的电压稳定, 保证国民经济和日常生活的有序开展。本课题首先讨论了无功补偿的研究背景和意义, 并给出了无功补偿技术的研究现状。然后对配电网电路的构成以及无功补偿的原理进行解析, 对当前传统的无功补偿装置实现进行论述, 最后对静止无功补偿装置电路进行设计和仿真。本课题设计很好地实现了基于 TCR+TSC 混合型 SVC 无功补偿设计, 对实际配电网补偿研究具有一定的指导意义。

关键词: 无功补偿; 配电网; SVC; TCR+TSC; 仿真

一、绪论

(一) 研究目的及意义

研究的目: 电能是当今社会中最便捷、最重要、最清洁的能源, 它被广泛应用于工农业生产、交通运输、城市和农村居民的日常生活中。现代电力系统承载电力“输配电”是人类历史上规模最大、其中最复杂的人工工业体系之一, 结构也变得越来越复杂, 电力系统的稳定性也越来越强和更加明显。近年来, 电力作为国民经济发展的基础性产业和公共事业发展迅速, 电力系统的规模发展和智能应用也产生了新的矛盾。本文的研究目的体现在以下四个方面:

1. 提高系统的功率因数和设备利用率, 从而提高无功优化的目标函数, 使电网约束条件更加有利, 这样是为了减少设备与线路损耗。
2. 保证电网电压的稳定, 提高电能质量。其原理是在长距离线路上安装合适的设备, 这可以改善传输线的不稳定, 还能使输电能力变强, 最大限度地提高配电网的满意度, 并进一步地优化与补充电能。
3. 对配电网的节电技术与无功优化进行仔细的研究, 通过适当的无功补偿提高变压器和供电线路的备用容量, 增强配电网的安全和效率, 降低基本电费, 并且节能。

研究意义: 这几年来, 中国的电力发展十分迅速, 已经逐步构成了大规模的电力网络系统。对电网无功功率要求也越来越高。像有功电源一样, 无功电源是电网功率不平衡的一部分, 控制电力系统的电能质量、减少电力损失并确保其安全运行非常重要。SVC 的显著特点是无功功率可以动态补偿, 响应速度随之加快。然而, 它的工作原理和响应速度与传统的补偿装置有非常多的不同点。因此, 加强新型无功补偿装置的设计和研究, 使其能够实

时检测供电系统需要补偿的无功功率, 并对系统进行补偿与跟踪, 对建设中急需解决的问题与对低压电网的重新建造具有相当重要的科学研究意义, 并使其的实用价值更加地凸显出来。

(二) 本文的主要研究内容

1. 对传统的五种补偿装置的优点与缺点进行了比较, 并且设计一个基于 SVC 的配电网无功补偿器 TCR+TSC 的电路, 作出相应的仿真研究;

2. 依据设计、仿真结果, 得出相应的结论。

二、配电网的电路构成以及无功补偿的原理

(一) 配电网的电路构成以及配电网无功补偿的必要性

配电网功能上可分成城市配电网、农村配电网与工厂配电网。作为电力系统的重要组成部分, 规划、建设与改造配电网是目前为止至关重要的。在规划建设当中, 有大量的因素要被考虑其中, 特别是需要仔细并且科学地选择配电网。经过这么些年电力系统的开发更为我们所知道的接线模式分为以下三种, 分别是: 环形接线、单功率辐射连接、分段接触线。

配电网无功补偿的必要性: 现代化的生活和生产都离不开电力能源, 电能可以提供相当大的动力, 电能的质量高能够改善人们的生活质量和工作效率。电能会由于输送过程中无功功率的损耗而使质量下降, 因此提高无功功率的补偿能力是保障高质量电能供给的重要条件。通常用户端的电压比较低, 当电能输送到受电端就会产生一定的电路损耗, 电力和能源使用率会降低, 电网系统的稳定性也会受到极大的影响。为了改善用户端的电能质量、提高电网运行的可靠性, 进行无功功率补偿对于电力系统优化是十分必要的。

(二) 无功补偿的原理

所谓电网中的电力负荷, 譬如电动机, 或者是变压器, 其实里面有许多设备都是属于感性负荷。当很多的感性负载在实际运行中, 则它们会向电源索取滞后无功, 并进行交换能量的过程, 最后, 该设备进行大量做功。我们通常通过电容器并联来补偿剩余的滞后消耗。当我们在电网中组装行无功补偿装置, 譬如并联补偿装置, 它其实是提供感性负载消耗的那些无功功率, 我们要清楚, 它将会随之降低电网电源负担因为电网内的无功功率减少了, 这就是无功补偿的基本原理。

三、TCR+TSC 混合型 SVC 在配电网中的仿真研究

(一) 仿真模型的建立

当变压器的漏抗是 0.15 p.u. 时, 则变压器的漏抗 XT 是

$$X_T = 0.15 \times \frac{16^2}{333} = 0.1153 \Omega \quad (4-1)$$

当 SVC 吸收感性无功功率 109 Mvar, 则感抗 X_L 是

$$X_L = \frac{16^2}{109} = 2.3486 \Omega \quad (4-2)$$

当 SVC 输出容性无功功率 282 Mvar, 则容抗 X_C 是

$$X_C = \frac{V_B^2}{Q_c} = \frac{16^2}{-282} = -0.9078 \Omega \quad (4-3)$$

也就是说, 从所述变压器一次绕组侧观察到的最大感抗 X_{Lmax} 是

$$X_{Lmax} = X_L + X_C = 0.1153 + 2.3486 = 2.4639 \Omega$$

由变压器一次绕组侧观察到最小的感抗 X_{Lmin} 是

$$X_{Lmin} = X_L + X_C = 0.1153 - 0.9078 = -0.7925 \Omega \quad (4-4)$$

我们可以发现等效电纳能由 $-1.04 \text{ p.u./100MVA}$ 变压器次绕组侧 $+3.23 \text{ p.u./100 Mvar}$ 不停地改变。图 4-1 里的“SVC 控制”子系统 (SVC Controller) 监测变压器的一次绕组侧上的电压, 而且可以产生上面所述的触发 TCR 和 TSC, 即 24 个晶闸管的触发脉冲, 也就是说晶闸管的导通或关断对变压器一次绕组侧的电纳值起着至关重要的作用, 最后再用“Look under Mask”的功能用于打开 TCR 与 TSC 的子系统。

1. SVC 控制子系统

打开“SVC 控制”子系统 (SVC Controller), “SVC”控制子系统主要有以下两个子系统:

(1) “电压调节 (Voltage Regulator) 子系统: 它的功能是, 一次绕组的起始值调整在 1.0 p.u. 范围内。降压环与子系统并联连接, 目的很明显来成功获得 $v-i$ 的特性。所以, 如果 SVC 的操作点从 300 Mvar 的全电容转换为 (-100 Mvar) 全电感时, SVC 电压从 $1-0.03=0.97 \text{ p.u.}$ 变为 $1+0.01=1.01 \text{ p.u.}$ 。

(2) “分配单元” (Distribution Unit) 子系统: 它的功能是, 由电压调节子系统计算的一次绕组电纳值, 可以用此电纳值, 确定 TCR 的触发延迟角与三个 TSC 是处于运行, 还是关闭。当启动 TCR 内电 B_{TCR} 与触发延迟角 α :

$$B_{TCR} = \frac{2(\pi - \alpha + \sin(2\alpha))}{\pi} \quad (4-5)$$

其中, B_{TCR} 就是在 TCR 额定功率 (109 mvar) 标准值。

(二) 仿真结果及分析

打开能够编程到电压源模块参数设置对话框模块, SVC 控制系统参数的对话框顺便把 SVC 的控制方式选成“电压调节”的方式, 最后设定参考电压 1.0 p.u. 。

开始仿真并且仔细观看 SVC 要变化的波形, 波形的顺序依次排列为所述变压器一次绕组侧上的电压, 变压器一次绕组侧电流, 在变压器的一次侧的无功功率, SVC 参考值和电压的平均值, TCR 触发角与导通 TSC 的数目。

当仿真正在进行时, SVC 还没有投入使用, 里面电源里的电压是 1.004 p.u. , 因此会更加快速地算出 SVC 端口的电压值, 所以这个 A 点的电压如下:

$$VA = 1.004 \times \frac{30}{\sqrt{30.1^2 + 1}} = 1.000 \text{ p.u.} \quad (4-6)$$

因为 SVC 的参考电压为 1.0 p.u. , 所以 SVC 处于暂停状态, 且端口电流是 0 通过此运行模式, TSC1 导通 ($Q_C = -94 \text{ Mvar}$), TCR 基本上保持全部畅通 ($\alpha = 96^\circ$)。于是当 $T = 0.1 \text{ s}$ 时, 电源电压猛增为 1.029 p.u. , 于是 SVC 端口电压也变为 1.025 p.u. , 即 SVC 就开始进行无功功率 ($Q_L = 95 \text{ Mvar}$) 的吸收, 电压便掉至 1.01 p.u. , 电压由 1.025 p.u. 变为 $1.025 - 0.95 \times (1.025 - 1.01) \text{ p.u.}$ 花费时间 0.135 s 。在此模式下, TSC 将全部进行关断, 则 TCR 基本上全部导通 ($\alpha = 94^\circ$)。当 $T = 0.4 \text{ s}$ 时, 电源的电压会掉至 0.934 p.u. , 即 SVC 开始向系统输出无功功率 ($Q_C = 256 \text{ Mvar}$), 电压会增加至 0.974 p.u. , 三个 TSC 全部通畅无阻, 然后 TCR 将吸收大约 40% 的固定感性无功功率 ($\alpha = 120^\circ$)。每当 TSC 导通一组, 那么 TCR 就会有阻态至通态的变化。最后, 当在 $T = 0.7 \text{ s}$, 电压又变为参考电压 1.0 p.u. , 则 SVC 输出的无功功率变成 0。

三、结语

静止无功补偿器 (SVC) 的补偿已成为国内外应用广泛, 并且补偿技术处于世界的领先, 但是其在落后的地区由于它本身高昂的成本难以很好地推广。针对现有无功补偿装置的不足, 本篇论文结合国内无功补偿技术的应用现状, 利用 TCR+TSC 型 SVC 进行动态无功补偿的理论研究和实际设计工作, 主要得到以下几点结论:

(1) 给出了基于 SVC 的动态补偿的基本运行原理, 并提出了 TCR+TSC 型 SVC 的整体补偿的设计方案;

(2) 利用 MATLAB 中的软件工具箱, 建立了基于 TCR+TSC 的静止型 SVC 配电网无功补偿系统仿真模型, 仿真进行分析与理论分析相同。

参考文献:

- [1] 顾炜杰, 方鑫勇, 孙东方, 王杨, 李仕杰. 10 kV 配电网无功补偿技术的应用和要点 [J]. 电子技术与软件工程, 2018 (21): 207.
- [2] 齐书鹏. 10 kV 及以下中低压配电网无功补偿优化 [J]. 科技风, 2018 (26): 192.
- [3] 张健华, 张春梅, 黄兆. 新型 SVC 动态无功补偿系统的设计及其应用 [J]. 高压电器, 2014 (10): 78-84.
- [4] 李松涛. 城市配电网无功补偿优化配置的应用 [J]. 电子技术与软件工程, 2018 (13): 218.
- [5] 程远楚, 徐德鸿, 刘燕. 基于瞬时无功理论的 SVC 低通滤波器设计及应用 [J]. 电工技术报, 2008, 23 (9): 138-143.
- [6] 董瑾. 高压静态无功补偿 (SVC) 用阀组件关键技术研究 [D]. 西安: 西安石油大学, 2011.
- [7] 刘异敏. 无功补偿的容量计算与几种补偿方法 [J]. 辽阳石油化工高等专科学校, 2000.