

SVC 预防电压失稳的快速控制方法

任旭超, 万秋兰

(东南大学 电气工程学院, 江苏 南京 210096)

摘要:在电压濒临失稳时, 静止无功补偿器(SVC)可能因为输出无功功率不够快而无法阻止电压失稳, 针对这种情况, 提出了一种 SVC 预防电压失稳的快速控制方法。该方法以电压失稳预测(VIP)指标数值越限为启动条件, 通过调整 SVC 电压参考值提升其无功输出速度, 从而预防电压失稳。使用 PSCAD/EMTDC 和 MATLAB 的联合仿真进行算例分析, 验证了此控制方法提升电压稳定性的有效性。该方法简单可靠, 且仅调节 SVC 控制系统外部数据, 不改变 SVC 原有的系统结构和参数, 适用于实际系统, 有很好的发展前景。

关键词:SVC; 电压稳定; 戴维南等值; PSCAD/EMTDC; MATLAB

中图分类号: TM712

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2014)02-0001-03

电压稳定问题是电力系统安全运行的关键问题, 一直以来受到研究人员的关注。柔性交流输电系统(FACTS)以其快速灵活的控制特性, 有效提高了系统的安全性^[1], 其中静止无功补偿器(SVC)可以快速补偿系统的无功功率, 对系统电压稳定性起到了良好的改善作用^[2,3]。电压稳定性和系统中的无功储备容量有很大关系, SVC 的无功储备正起到越来越重要的作用。然而, 部分电压失稳的情况下, 即便 SVC 的无功容量是足够的, 但由于其响应系统无功需求的速度不够快, 可能无法将电压失稳的趋势拉回, 最终仍然出现电压失稳的情况。

1 SVC 控制系统模型

SVC 通常用于控制系统节点电压, 在这种工作模式下, 其控制系统框图^[4]如图 1 所示。其中, V_{ref} 为人为设定的节点参考电压, V_{ms} 为测量得到的节点电压有效值, PI 控制器中主要参数为比例系数 K_p 和积分系数 K_i 。

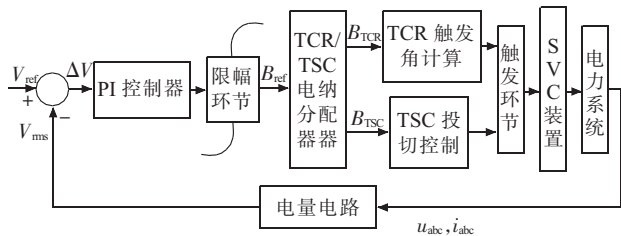


图 1 SVC 控制系统结构框图

控制系统通过 V_{ref} 和 V_{ms} 的对比得到电压偏差值 ΔV , ΔV 通过 PI 控制器和限幅环节得到可用于补偿电压偏差量的电纳参考值 B_{ref} , 再经过 TCR/TSC 电纳分配器计算 TCR 和 TSC 应有的电纳值 B_{TCR}, B_{TCS} , 从而可以算出与 B_{TCR} 对应的 TCR 触发角和与 B_{TCS} 对应的 TSC 投入数量, 将这一结果通过触发环节即可作

用于 SVC 装置, 以控制 SVC 输入系统的无功功率, 进而控制 SVC 所安装节点的电压^[2-4]。

2 SVC 预防电压失稳的快速控制方法

2.1 无功投入速度对电压稳定的影响

在电压濒临失稳时, 系统中无功储备的响应速度对电压稳定性的发展趋势有一定的影响。下面以一组仿真算例进行说明。

仿真在图 2 所示的 3 机 10 节点系统中进行, B10 的负荷由 50% 的感应电动机负荷和 50% 的恒阻抗负荷组成, 电磁暂态仿真软件 PSCAD/EMTDC 为仿真所用的平台。

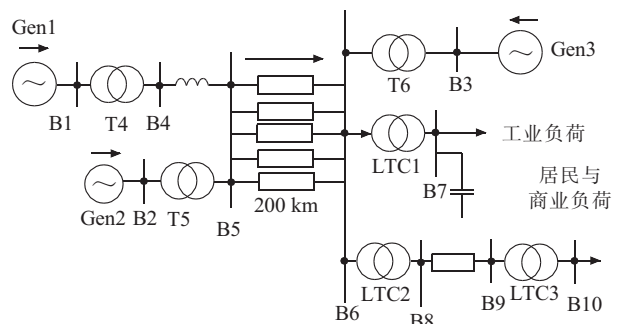


图 2 3 机 10 节点系统

仿真时序如下:

0—30 s 时, 系统处于稳态;

30—31.5 s 时, 节点 B10 的电动机负荷线性增加至稳态时的 1.48 倍;

31.5—31.6 s 时, 节点 B10 的电动机负荷维持在稳态值的 1.48 倍, 维持重载的状况;

31.6 s 时, 切除部分电动机负荷, 使节点 B10 的电动机负荷减少至稳态值的 1.19 倍;

60 s 时, 仿真结束。

仿真结果表明, 在这种运行条件下, 系统最终会电压失稳。为阻止电压失稳的发生, 在负荷增长后某一时

刻,在节点 B6 和节点 B9 同时投入 80 Mvar 的固定电容器,通过改变电容器的投入时间来观察无功投入速度对电压稳定性的影响。多组仿真实验结果表明,固定电容器投入速度越快,越利于改善电压稳定性。由于各节点电压轨迹类似,下面以系统侧节点 B6 和负荷侧节点 B9 的电压曲线进行说明,仿真曲线如图 3 所示。

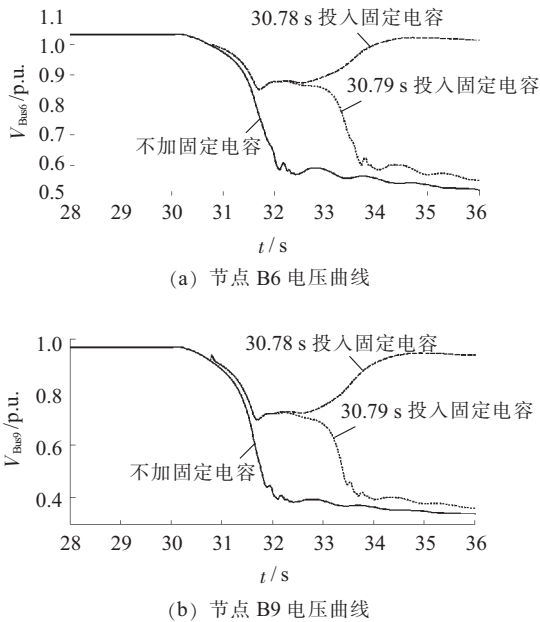


图 3 不同工况下节点电压曲线

由图 3 可见,虽然在 30.78 s 和 30.79 s 投入的固定电容相同,且 2 种情况无功投入时间仅相差 0.01 s,但结果却相差很大,前者阻止了电压失稳,而后者虽然在一定程度上延缓了电压下降的速度,但还是出现了电压失稳的情况。总之,在濒临电压失稳时,无功储备的投入速度在一定程度上决定了系统的电压稳定性,无功投入速度越快,越有利于阻止电压失稳。

2.2 SVC 预防电压失稳的快速控制方法

若系统中安装 SVC,由上一节的结论可知,在系统濒临电压失稳时,SVC 无功输出的响应速度越快,越有利于防止失稳。在 SVC 的控制系统中,决定其响应速度的主要是图 1 中的 PI 控制器,而 PI 控制器的特性决定于比例系数 K_p 和积分系数 K_i 。理论上只要在检测出电压有失稳趋势时调整 K_p 和 K_i 的值即可使 SVC 的响应速度变快,其中 K_p 的值更是直接决定了调节速度。然而,在实际的工程应用中,SVC 的控制系统通常是封装的, K_p 和 K_i 是经过多次试验后整定的一组参数,已经有较好的响应特性和适应性,在实际运行过程中并不常调整。虽然 K_p 越大,调节速度越快,但过大的比例会使系统稳定性下降,甚至造成系统不稳定,在动态过程中整定得到响应特性满足要求的 PI 参数是有一定难度的。因此,在检测出电压失稳趋势时,通过调整 SVC 内部 PI 控制器预防失稳在实际系统中并不适用。

通过观察图 1 中 SVC 的控制系统,可见 SVC 输出的无功主要决定于电纳参考值 B_{ref} ,其通过 PI 控制器求得,与 PI 控制参数有很大关系,这与前文的理论一致。另外可以发现, B_{ref} 还受 PI 控制器输入 ΔV 的影响,在 PI 控制器参数不变的情况下, ΔV 越大,为快速补偿无功缺额,实现电压的无差调节,经过 PI 控制器得到的 B_{ref} 也会越大,相当于加快了 SVC 的响应速度。因此,在检测出电压失稳趋势时,若能按照一定的规则改变 ΔV ,即可以改变 SVC 投入无功的速度,从而避免电压失稳的发生,这就是本文所提方法的基本思路。

ΔV 的数值可以在 SVC 控制系统外部,通过改变 V_{ref} 进行调整,这在实际系统中是很容易实现的。使用的方法是在检测出电压濒临失稳时,调整 V_{ref} 使 ΔV 达到正常数值的 2 倍,即:

$$V_{ref} = 2 \times (V_{ref0} - V_{rms}) + V_{rms} = 2V_{ref0} - V_{rms} \quad (1)$$

式(1)中: V_{ref0} 为稳态时的电压参考值。

为监测电压稳定性,可采用电压失稳预测指标 VIP^[5],其数值可表示为 I_{VIP} ,计算公式为:

$$I_{VIP} = |Z_{th}| / |Z_L| \quad (2)$$

式(2)中: Z_{th} 为所观测节点戴维南等值阻抗; Z_L 为节点负荷等值阻抗。

VIP 指标反映所观测节点的电压稳定性,在电压稳定的情况下, I_{VIP} 的范围为 0~1,数值越接近 1,电压稳定性越差,当 I_{VIP} 为 1 时,则表示电压处于临界稳定状态。因此,通过实时监测 VIP 指标启动 SVC 快速控制的条件可以规定为,VIP 指标大于某一阈值,且本时刻 VIP 指标比上一时刻大,即:

$$\begin{cases} I_{VIPi} > I_{VIPth} \\ I_{VIPi} > I_{VIPi-1} \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中:下标 i 为当前时刻, $i-1$ 为上一时刻, I_{VIPth} 为 VIP 指标阈值,多次实验结果表明,该阈值定位 0.85 比较合理。

提出的 SVC 预防电压失稳的快速控制方法基于以上思想,其基本控制过程是通过实时跟踪各节点戴维南等值参数,计算与其对应的 VIP 指标,当任意一个节点的 VIP 指标满足快速控制的启动条件时,即认为系统有电压失稳趋势,此时选择需进行控制的 SVC,并按照式(1)中 V_{ref} 数值的调整规则对此 SVC 加以控制,以达到预防电压失稳的目的。选定被控 SVC 的原则为,SVC 与报警节点的电气距离最小,从而可以为报警节点提供足够的无功支撑。SVC 预防电压失稳的快速控制方法流程图如图 4 所示。

此处跟踪戴维南参数的方法为基于偏差校正的在线跟踪算法^[6,7],此方法跟踪速度快、准确度高,且仅使用本地量测数据计算戴维南参数,很适用于对 VIP 指标的实时监测。

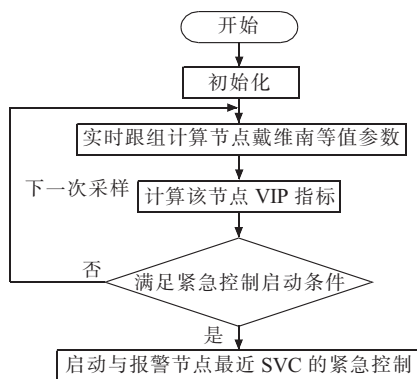


图4 SVC 预防电压失稳的快速控制方法流程图

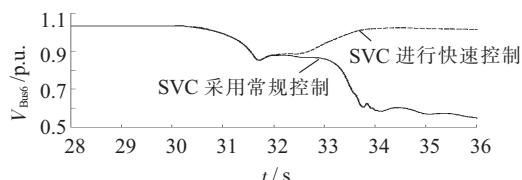
3 仿真结果及分析

利用了 PSCAD/EMTDC 和 MATLAB 的联合仿真^[8,9]对 SVC 预防电压失稳快速控制方法进行研究,充分利用了 MATLAB 编程方便的优点和 PSCAD/EMTDC 在电力系统电磁暂态仿真中的权威性,以确保仿真结果的可信性和有效性。

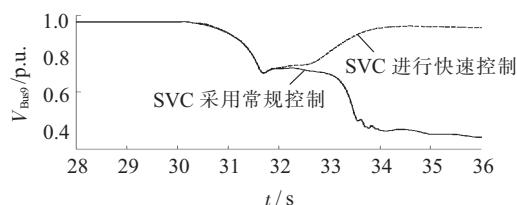
算例仿真在图 2 所示的 3 机 10 节点系统中进行,在系统中安装 2 台 SVC,分别为节点 B6 的 SVC1 和节点 B9 的 SVC2,2 台 SVC 容量均为 80Mvar。系统施加的扰动与 2.1 中的相同,当 2 台 SVC 不采用预防电压失稳快速控制方法时,会出现电压失稳的状况。当采用快速控制方法时,2 台 SVC 的快速控制动作时序如表 1 所示。考虑控制延时,在节点报警后 0.005 s 启动 SVC 快速控制。将 SVC 采用常规控制和采用快速控制的情况进行对比,如图 5 和图 6 所示。其中考虑到各节点电压变化情况类似,仅观察较有代表性的系统侧节点 B6 和负荷侧节点 B9。

表 1 2 台 SVC 快速控制启动时序

报警节点	B9	B7
报警时间 /s	30.16	30.20
快速控制的 SVC	SVC2	SVC1
控制启动时间/s	30.165	30.205

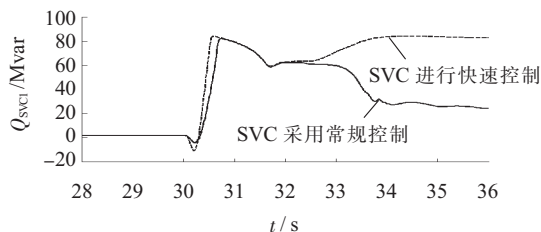


(a) 节点 B6 电压曲线

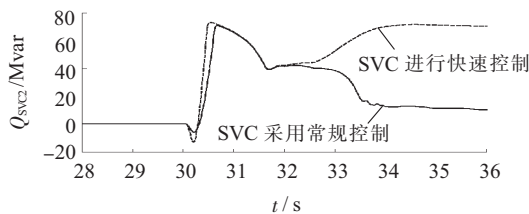


(b) 节点 B9 电压曲线

图5 SVC 进行快速控制和采用常规控制电压曲线对比



(a) SVC1 的无功输出曲线



(b) SVC2 的无功输出曲线

图6 SVC 进行快速控制和采用常规控制无功输出对比

由图 5 可见,提出的 SVC 预防电压失稳的快速控制方法在电压濒临失稳时有效阻止了电压失稳的发生,提高了系统的电压稳定性。由图 6 可见,采用快速控制方法时,在检测出电压失稳趋势时 SVC 输出无功的速度会明显加快,为系统提供了快速的无功支持,从而有效预防了电压失稳的发生。

4 结束语

考虑到在系统电压濒临失稳时无功储备投入速度对电压稳定性有较大影响,提出了 SVC 预防电压失稳的快速控制方法。该方法以 VIP 指标数值越限为启动条件,按照一定规则提升 SVC 控制系统电压参考值 V_{ref} 来加快 SVC 的无功输出速度,从而预防电压失稳。本文用 PSCAD/EMTDC 和 MATLAB 联合仿真的算例,验证了该方法在提升系统电压稳定性上的有效性。所提方法原理简单,易于实现,有良好的控制效果,在实际电力系统中,可使用 PMU 数据实时跟踪节点 VIP 指标,从而实现 SVC 快速控制,实用性强。更重要的是,该方法仅仅针对 SVC 控制系统外部数据进行控制,不需要改变 SVC 原有的系统结构和参数,非常适合在实际系统中应用,有较好的发展前景。

参考文献:

- [1] 孙元章,刘前进. FACTS 控制技术综述——模型、目标与策略[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(6): 1-7.
- [2] 王云洁,胡 毅. SVC 电压稳定控制和抑制低频振荡交互影响研究[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(1): 23-25.
- [3] 王玉荣,万秋兰,陈 昊. 基于模糊聚类和学习自动机的多目标无功优化[J]. 电网技术, 2012, 36(7): 224-230.
- [4] 盘宏斌,罗 安,涂春鸣,等. 蚁群优化 PI 控制器在静止无功补偿器电压控制中的应用[J]. 电网技术, 2008, 32(18): 41-46.
- [5] 赵金利,余贻鑫, ZHANG P. 基于本地相量测量的电压失稳指标工作条件分析[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(24): 1-4.

成本,应优先选择发电成本低的机组增加出力。

(3) 要在确保系统稳定的前提下,增加机组出力,可适当在光伏节点注入无功。

再下一步可从以下方面深入研究。选取哪些节点为光伏节点对提高系统的经济性最佳以及在光伏节点注入无功对系统稳定性的影响。

参考文献:

- [1] 陈波,朱凌志,朱晓东. 并网光伏电站低电压穿越仿真与分析[J]. 江苏电机工程,2012,31(5):13-17.
- [2] 艾欣,韩晓男,孙英云. 大型光伏电站并网特性及其低碳运行与控制技术[J]. 电网技术,2013,37(1):15-23.

[3] 汪海宁,苏建徽,张国荣,等. 具有无功功率补偿和谐波抑制的光伏并网功率调节器控制研究[J]. 太阳能学报,2006,27(6):540-544.

[4] LI L L, DING Q, LI H, et al. Optimal Dispatching Method for Smoothing power Fluctuations of the Wind-Photovoltaic-Battery Hybrid Generation System [C]. ISGT Asia, Tianjin: IEEE,2012: 1-6.

作者简介:

薛斌(1982),男,江苏如皋人,工程师,从事电力系统的安全与控制工作。

Research on the Photovoltaic Power Consumption System Based on Gams

XUE Bin

(Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper proposes a Power Consumption System with the considerations of photovoltaic power and regular power. A mathematical model for photovoltaic power consumption analysis is built and the way to solve the model is provided. The IEEE 26-generator 24-bus test system is taken as an example and three scenarios of it are analysed with the method of GAMS. The results show that the generation cost is reduced and reactive power consumption is increased with the integration of photovoltaic power. It also reveals that there exists tight connections among generation cost, generation output and power system stability, which validates the effectiveness and correctness of the proposed system.

Key words: photovoltaic generation; consumption system; GAMS

(上接第3页)

- [6] CORSI S, TARANTO G N. A Real-time Voltage Instability Identification Algorithm Based on Local Phasor Measurements [J]. Power Systems, IEEE Transactions on,2008,23(3):1271-1279.
- [7] 牟善科,丁涛,顾伟,等. 基于偏差校正的戴维南等值参数在线跟踪改进算法[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(2):23-28.
- [8] 杨健维,麦瑞坤,何正友. PSCAD/EMTDC 与 Matlab 接口研究[J]. 电力自动化设备,2007,27(11):83-87.
- [9] 邹宁,方存洋,刘育鑫,等. PSCAD/EMTDC-MATLAB 联合仿真

技术在 SVC 控制系统仿真建模中的应用[J]. 江苏电机工程,2012,31(5):40-44.

作者简介:

任旭超(1989),男,河南济源人,硕士研究生,研究方向为电力系统电压稳定与控制、FACTS 装置协调控制;

万秋兰(1950),女,江西南昌人,教授,研究方向为电力系统运行与控制及电力系统经济调度。

A Fast SVC Control Method for Voltage Stability

REN Xuchao, WAN Qiulan

(Department of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: When voltage tends to instability, SVC (Static Var Compensator) may fail to prevent it due to the slow reactive power output speed. For this situation, a fast control method of SVC to prevent voltage instability is proposed. The out-of-limit of VIP(voltage instability predictor) is set as the starting condition of this method. The reactive power output speed of SVC is raised by adjusting the voltage reference of SVC controller, thus voltage instability is prevented. PSCAD/EMTDC and MATLAB joint simulation is adopted for example analysis, and the results prove that the control method improves voltage stability. Moreover, the method only adjusts external data of SVC control system, and the original structure and parameters of SVC control system are not changed, so it is easy to apply the method current actual power system.

Key words: SVC; Thevenin equivalent; Voltage stability; PSCAD/EMTDC; MATLAB

欢迎投稿 欢迎订阅