

OLTC 对含 DG 电力系统静态电压稳定极限的影响

朱闪闪

(榆林学院 榆林 719000)

摘要:在静态范围内利用三元分析法阐述了 OLTC 动作引起的 $P_{\max}-\phi$ 、 $V_{cr}-\phi$ 曲线的变化,研究了在接入分散,电源的电力系统中,OLTC 变比调整对其静态电压稳定极限的影响,并采用两机系统进行了仿真分析得出,OLTC 变比变化改变了系统的最大传输功率稳定极限 P_{\max} 和临界电压稳定极限 V_{cr} ,影响了电力系统稳定运行范围;由于分散电源在配电网的接入,OLTC 变比变化对 P_{\max} 和 V_{cr} 的影响程度不同。

关键词: OLTC; DG; 三元分析法

中图分类号: TM712 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.4054

Influence of OLTC on static voltage stability limit of power system connected DG

Zhu Shanshan

(Yulin University, Yulin 719000, China)

Abstract: This article studies the changes of the $P_{\max}-\phi$ 、 $V_{cr}-\phi$ curves corresponding to OLTC adjustment within the static scope by using the ternary analytical method, and states the influence of OLTC transformer ratio change on static voltage stability limit of power system connected DG, and it carries on the simulated analysis of the 2-machine system in this paper. Such conclusions have been drawn as followings: OLTC transformer ratio adjustment changes the maximum transmission power and critical voltage of the power system, and effects the Stable operating range of power system, OLTC transformer ratio change effects the degree of influence on the P_{\max} and $V_{cr}-\phi$ differently due to distribution systems connected DG.

Keywords: OLTC; DG; the ternary analytical method

0 引言

在电力系统中为了确保节点电压的良好水平,充分利用了各种电压调整手段,有载调压变压器(OLTC)作为重要的调压设备,在电力网特别是配电网得到了广泛使用。采用切换 OLTC 的动作档位来调节变比是常用的调压手段之一,目前的研究表明调节 OLTC 变比造成的静态结果是影响电压稳定的主要因素之一^[1-2]。另外,分散电源(DG)在电力系统中的高渗透率,促使分散电源在现代电力系统中日益广泛的应用形成了一种发展趋势^[3-4]。伴随着分散电源大规模的并入配电网,对电力系统尤其是配电网产生一系列的影响,电压稳定问题是其中之一^[5-11]。在配电网调节 OLTC 时,由于分散电源的存在及其有功输出的不确定性,将加剧配电网的电压波动,带来更为突出的电压稳定问题。因此,有必要研究 OLTC 变比调整对接

入分散电源的电网静态电压稳定性的影响。

本文基于三元分析法,研究 OLTC 变比调整引起的电力系统临界状态时对应的功率稳定边界曲线 $P_{\max}-\phi$ 和电压稳定边界曲线 $V_{cr}-\phi$ 分别在 $P-\phi$ 空间和 $V-\phi$ 空间上的变化,并依据此变化情况分析 OLTC 变比变化对带分散电源的电力系统的静态电压稳定性的影响。

1 静态电压稳定极限

电力系统的静态电压稳定性和动态电压稳定性是系统电压稳定性研究的两大方面。前者研究的主要内容是电力系统在某种方式下运行时,求解其电压稳定极限,明确当前运行状态下的电压稳定裕度;后者主要研究的是当系统遭受大扰动时,其工作点超越了电压稳定极限后的失稳过程。因此,电压稳定极限是研究电力系统电压稳定性的重要方面^[12-14]。电压稳定极限的确定通常是利用潮流

计算法求解潮流方程的可行临界解,系统中各负荷节点临界解就是电压崩溃的临界点和系统运行的极限点,表征此时系统中各节点的负荷处于最大功率状态。目前广泛使用 $P-V$ 曲线分析法研究分析静态电压稳定性, $P-V$ 曲线是由连续潮流计算得出的。虽然 $P-V$ 曲线可以清晰的表征系统的当前工作状态及其与电压崩溃点的距离,但它不能明确表示出系统的正常工作区域及稳定运行极限。因此本文将利用三元分析法在 $P-\phi, V-\phi$ 空间分析电力系统的临界状态,获取系统的稳定运行极限即功率稳定边界曲线 $P_{\max}-\phi$ 和电压稳定边界曲线 $V_{cr}-\phi$,来研究系统在接入分散电源情况下的静态电压稳定性。

分散电源 DG 并入系统后,配电网的结构发生改变,由原来的单电源结构转变为多电源结构,使系统潮流分布甚至潮流方向发生变化,影响系统的电压稳定性,其影响主要体现在电压水平上。比较典型的是 DG 的并网抬高了原电网中的节点电压,增加 DG 的出力,其对电压的支撑就越大,某些节点电压将严重越限,甚至引发电网电压的波动或闪变;而当 DG 退出配电网时,系统中某些节点电压将下跌,易造成电压闪变等破坏系统稳定性的不良影响。为了研究 DG 并网后的电压稳定性问题可采用潮流计算法获取静态电压稳定极限进行定量分析。

2 三元分析法简介

三元分析法^[15]是在静态范围内采用最大功率 P_{\max} ,临界电压 V_{cr} 及负荷阻抗角 ϕ 这 3 个参数,来描述系统临界电压状态的电压稳定性分析方法。其主要就是基于 P_{\max}, V_{cr} 和 ϕ 三参数建立能够描述系统临界状态的 $V-\phi, P-\phi$ 空间,并在一定假想条件下得出不同负荷增长方式下对应的 $V-\phi, P-\phi$ 空间中的临界状态值,这些数值的连线就是系统稳定运行极限曲线,即 $V-\phi$ 空间中的电压稳定极限曲线 $V_{cr}-\phi$ 和 $P-\phi$ 空间中的功率稳定极限曲线 $P_{\max}-\phi$,因此这两条极限曲线上的点就是 $P-V$ 曲线的拐点。

三元分析法的依据是阻抗模判据,将含有 OLTC 的电力网进行等值及简化,其等效电路如图 1 所示。

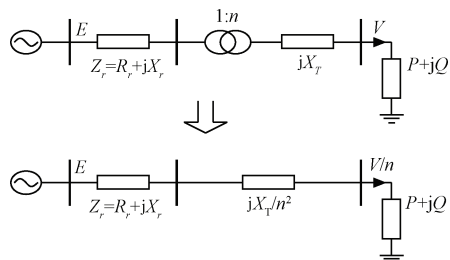


图 1 电力系统等效电路

由图 1,可推导出最大传输功率 P_{\max} 的近似表达式:

$$P_{\max} = \frac{E^2 \cos\phi}{2\left(X_r + \frac{1}{n^2}X_T\right)(1 + \sin\phi)} \quad (1)$$

最大传输功率 P_{\max} 就是临界状态时对应的功率稳定

极限,式(1)中,可认为 E, X_r 及 X_T 是定值,因此 P_{\max} 是关于 OLTC 变比 n 和节点负荷阻抗角 ϕ 的函数。当变比分别取 $n>1, n=1, n<1$, 负荷按照不同模式增长(即 ϕ 取不同值)时的对应的 $P_{\max}-\phi$ 曲线,如图 2 所示。

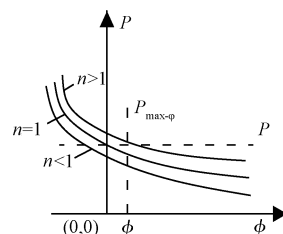


图 2 $P_{\max}-\phi$ 曲线

由图 1,推导出临界电压的近似表达式:

$$V_{cr} = n \frac{E}{1 + \sin\phi + j\cos\phi} \quad (2)$$

同样地,根据式(2),可得出选择不同变比 n 时 $V-\phi$ 空间中的 $V_{cr}-\phi$ 曲线,如图 3 所示。

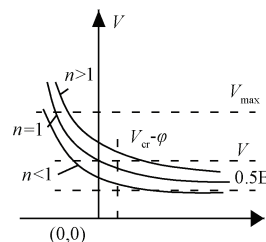


图 3 $V_{cr}-\phi$ 曲线

式(1)和式(2)近似表示了电力系统中电压薄弱节点的电压临界状态,由式(1)和式(2)及图 2 和图 3 可知最大负荷功率 P_{\max} 和临界电压 V_{cr} 都是关于负荷阻抗角 ϕ 和 OLTC 变比 n 的函数。而同一负荷阻抗角下的 P_{\max} 和 V_{cr} 表示的就是某一负荷增长方式对应的电压临界状态,即 $P-V$ 曲线的拐点。三元分析法在 $P-\phi, V-\phi$ 空间明确给出了系统在临界状态时的边界曲线,因而能更加清晰的描述电压临界状态时各参数之间的关系。

3 关于 OLTC 对含有 DG 的电力系统的静态电压稳定极限影响的仿真

由上述可知,OLTC 分接头变化改变了系统运行时的临界状态,即改变了系统最大传输功率和临界电压。为了分析 OLTC 对系统接入 DG 的静态电压稳定性影响,首先建立两机系统模型如图 4 所示。

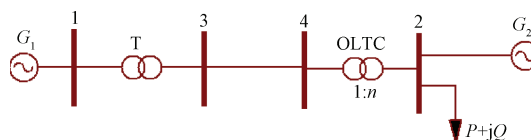


图 4 接入分散电源的系统模型

图 4 两机系统模型中,发电机 G_1 表示无穷大系统,视

为平衡节点。OLTC一、二次侧电压比为 $1:n$ 。本模型中为了简化分析只设定一个负荷节点 $P+jQ$,为 PQ 节点,负荷 $P+jQ$ 由 G_1 和 G_2 共同供电,其中分散电源 G_2 为距负荷中心较近且容量较小的发电机,其接入配网向用户供电。 G_2 不仅为负荷供电,在系统供电不足时, G_2 也可通过OLTC向系统供电。 G_2 的存在将影响潮流分布,为了全面分析OLTC切换分接头对两机系统的影响,本文选定负荷节点和OLTC二次侧为研究点,获得这两点的 $P_{\max}-\phi$, $V_{cr}-\phi$ 曲线。

电压崩溃的主要特征是,伴随传输到某一区域功率的增大,该区域的电压将逐渐降低,已至系统的极限输送功率和临界电压即电压崩溃点而发生电压崩溃。本文利用PSASP软件,采用牛顿法计算系统潮流分布,得到系统失稳时的电压临界点数据 P_{\max} 和 V_{cr} ,调整OLTC变比,获取不同变比下的 $P_{\max}-\phi$, $V_{cr}-\phi$ 曲线。仿真结果如图5~8所示。图5、图7为负荷节点采用不同增长方式不同变比时的 $V_{cr}-\phi$, $P_{\max}-\phi$ 曲线;图6、图8是OLTC二次侧在负荷采用不同增长方式不同变比时的 $V_{cr}-\phi$, $P_{\max}-\phi$ 曲线。

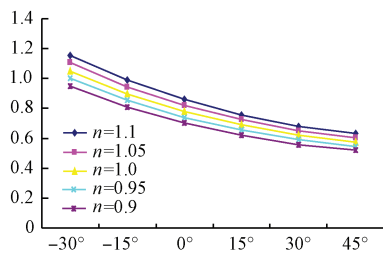


图5 负荷节点 $V_{cr}-\phi$ 曲线

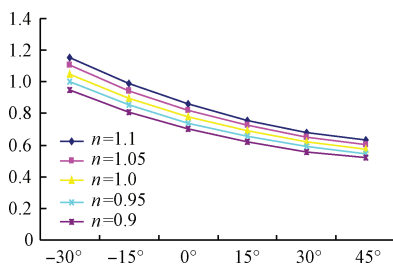


图6 OLTC二次侧 $V_{cr}-\phi$ 曲线

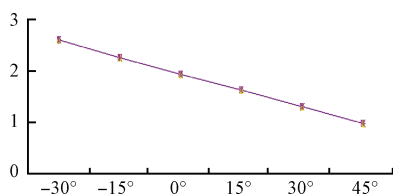


图7 负荷节点 $P_{\max}-\phi$ 曲线

图5、图6分别为负荷节点和OLTC二次侧的 $V_{cr}-\phi$ 曲线。可知,OLTC采用不同变比 n ,负荷节点的 $V_{cr}-\phi$ 曲线不同,若负荷阻抗角下保持不变,临界电压 V_{cr} 随变比 n 的增加而提高,不利于系统的电压稳定; V_{cr} 随变比 n 的减

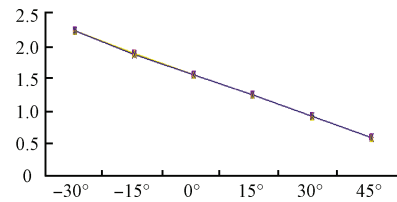


图8 OLTC二次侧 $P_{\max}-\phi$ 曲线

小而降低,有利于系统的电压稳定。因此,OLTC变比变化改变了节点临界电压。

图7、图8分别为负荷节点和OLTC二次侧临界状态时的 $P_{\max}-\phi$ 曲线。可知,若负荷阻抗角下保持不变,增大变比 n ,负荷节点和OLTC二次侧的最大功率随之增加,有利于系统的稳定;减小 n ,最大功率随之减小,不利于系统的稳定。因此,OLTC变比变化影响了系统的最大传输功率。另外,相邻变比对应的两条 $P_{\max}-\phi$ 曲线相差较小,说明由于DG接入配电网,调整OLTC变比虽然改变了最大传输功率,但影响较小。

对比分析图5、图6与图7、图8,可知,由于DG的存在,OLTC调整变比对临界电压和最大传输功率的影响程度不同,其对临界电压的影响要大于对最大传输功率的影响。比较图7与图8可知,DG增加了负荷节点的注入功率,使系统的最大传输功率小于负荷节点的极限功率。因此,DG在配电网的接入,提高了系统供电能力,有利于系统的电压稳定性。

4 结论

本文从静态电压稳定性的角度出发,利用三元分析法,分析OLTC变比调整前后对配电网接入分散电源的电力系统静态电压稳定极限的影响,获取了不同变比时系统的临界状态曲线 $V_{cr}-\phi$ 和 $P_{\max}-\phi$,得出如下结论:

- 1) OLTC变比调整改变了系统最大传输功率和节点的临界电压,即改变了静态电压稳定极限,进而影响系统的稳定运行范围。由于分散电源的存在,OLTC变比变化对最大传输功率的影响相对小于对临界电压的影响。
- 2) 分散电源在配网的接入,分担了系统的输电压力,使负荷节点的最大功率能够大于系统最大传输功率,一定程度上提高了系统的电压稳定性。

参考文献

- [1] 李珊,苏永丽,康积涛.有载调压变压器对电压稳定的影响综述[J].变压器,2012,49(2):19-23.
- [2] 司丞坤,高金峰.有载调压变压器对电力系统电压稳定的影响分析[J].电测与仪表,2015,52(20):113-119.
- [3] 康龙云,郭红霞,吴捷,等.分布式电源及其接入电力系统时若干研究课题综述[J].电网技术,2010,34(11):43-47.

- [4] 安云鹏,赵锦成,刘金宁.分布式电源联合供电分层控制策略研究[J].国外电子测量技术,2016,35(3):58-62.
- [5] 吴顺风,江明,杨晨悦,等.分布式电源并网后的自适应负载反孤岛方法[J].电子测量与仪器学报,2016,30(1):52-67.
- [6] 杨景旭.含分布式电源的配电网静态电压稳定性研究[D].北京:华北电力大学,2014.
- [7] 李颢印,韩永强,胡晓琴,等.分布式发电接入电网的静态电压稳定性及影响分析[J].电力系统保护与控制,2014,42(12):8-13.
- [8] 沈鑫,曹敏.分布式电源并网对配电网的影响研究[J].电工技术学报,2015,30(1):346-351.
- [9] 李升,姜程程,赵之瑜,等.分布式光伏电站接入低压配电网系统暂态电压稳定性研究[J].电力系统保护与控制,2017,45(8):67-72.
- [10] 黎静华,左俊军,汪赛.大规模风电并网电力系统运行风险评估与分析[J].电网技术,2016,40(11):3503-3510.
- [11] 苏文辉,林章岁,李喜兰,等.分布式电源对配电网静态电压稳定的影响研究[J].电测与仪表,2014,51(14):41-46.
- [12] 汤勇,仲悟之,孙华东,等.电力系统电压稳定机理研究[J].电网技术,2010,34(4):24-29.
- [13] 周启航,张东霞,郭强,等.电压崩溃的风险评估方法及应用[J].电网技术,2011,35(4):35-39.
- [14] 陈为化,江全元,曹一家,等.电力系统电压崩溃的风险评估[J].电网技术,2005,29(19):6-11.
- [15] 段俊东.静态电压稳定的三元分析法[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.

作者简介

朱闪闪,1986年出生,工学硕士,讲师,主要研究方向为电力系统运行、分析与控制。

E-mail: 790359351@qq.com

罗德与施瓦茨公司在移动网络测试方面引入行业内具有权威性的合作伙伴 共同迎接网络优化中带来的挑战

罗德与施瓦茨移动网络测试部门正在引入行业内具有权威性的合作伙伴来应对移动网络测试过程中面临的复杂问题。通过加强与网络测试服务提供商和网络测试服务公司合作伙伴的合作,罗德与施瓦茨在移动网络测试中为客户提供最优质的解决方案,并促使这种解决方案在行业内得以持续的传播。罗德与施瓦茨移动网络测试及它的认证机构可以为运营商提供更好的端到端的服务和专业的移动网络测试分析与评估。

随着复杂多样化的射频无线环境增加,网络性能测试迎来了前所未有的挑战,一方面是由于通信领域先进的技术快速发展,这包括连接着数十亿的终端和海量的数据传输的物联网。另一方面,智能手机的速度越来越快,容量越来越大,越来越多的消费需求和新的手机应用软件迫使运营商减少开支,节约成本。作为在移动网络测试领域的引领者,罗德与施瓦茨加强和这些专业的有资质的合作伙伴合作,来迎接运营商面临的网络优化方面的挑战。

罗德与施瓦茨负责移动网络测试领域的副总裁 Hanspeter Bobst 说到:“和这些服务商共同合作对各方而言都是一个双赢,通过这种紧密的合作,各方特别是研发可相互获

取新的技能和知识,这有利于我们和合作伙伴共同为运营商提供更专业和更具有针对性的解决方案来解决错综复杂的网络问题。这也使我们对各种网络问题具有可预见性,长期的知识共享使我们更具有专业技能,使供应商在短时间内用少量的开销来达到预期的效果。”

罗德与施瓦茨移动网络测试的合作伙伴会在早期参与到开发中来,并且会接触到公司的新产品并且了解其特性。这些专业的视角以及知识经验的共享,大大缩短了一个新的解决方案流向市场的时间。同样,这也使得罗德与施瓦茨公司的合作商和运营商在第一时间获取这些新的技术。

目前罗德与施瓦茨正在和几个合作伙伴谈判,谈判结果会很快在罗德与施瓦茨网站上移动网络测试版块发布,详情见网址: <https://www.mobile-network-testing.com/en/about/certified-partners/>.

关于罗德与施瓦茨在网络运营商、网络服务供应商和网络监管商的优化方案和材料,请访问 <https://www.mobile-network-testing.com> and <https://blog.mobile-network-testing.com>.