

计及电动机动态的电压稳定问题仿真分析

郭琼^{1,2}, 李晨晖³

(1. 清华大学电机系, 北京 100084; 2. 青海大学, 青海 西宁 810016; 3. 桂林航天工业高等专科学校, 广西 桂林 541004)

摘要: 对一个三相系统模型进行仿真, 分析了感应电机动态负荷特性对系统电压稳定性的影响, 并给出改善电机节点电压性能的措施。

关键词: 感应电机; 负荷特性; 电压稳定; 电压崩溃

中图分类号: TM743 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)05-0012-03

0 引言^[1,2]

近几十年来, 由于世界各国的电力改制及环保立法等因素的影响, 电网运行越来越接近于极限状态, 出现了慢速或快速的电压跌落现象, 有时甚至产生电压崩溃。例如 1996年 7月 2日美国西部电力系统(WSCC)的一次事故, 共损失了约占 10%的负荷造成了巨大的经济损失和社会生活紊乱; 而 2003年 8月 14日的美、加停电则是一起由电网局部故障, 扩大到电网稳定破坏, 电压崩溃, 最后造成电网瓦解, 引起大面积停电的严重恶性事故。在现代高度发达的电网中, 电压稳定问题日趋严重, 越来越受到人们的重视, 已成为电力系统规划和运行的主要问题之一。

影响电压稳定的因素很多, 其中电力系统负荷特性是影响电压稳定性的一个关键因素, 它在很大程度上决定了电压失稳和电压崩溃的进程。不同的负荷特性对电压稳定性的影响不同, 大部分电力系统负荷由具有动态响应的感应电动机组成, 电动机的动态成为负荷动态特性的最重要方面。本文围绕感应电机动态负荷特性对电力系统电压稳定的影响这一问题进行仿真和分析。

1 仿真技术及仿真系统的选取

电力系统动态仿真要求包括快速和慢速现象, 选取的仿真系统应能真实反映这些动态过程。Eurostag 是对于电力系统动态性能反映较好的软件之一, 可以仿真大规模的复杂电力系统, 其主要特点是计算灵活、代码开放和界面友好。

电压稳定问题是一个局部现象, 为了研究电机负荷对电压稳定性的影响, 本文对所选系统进行了处理, 保留研究节点的特性及条件, 其余部分用戴维南等效电路来表示。系统模型如图 1所示:

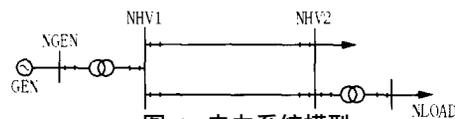


图 1 电力系统模型

Fig 1 Model of power system

该系统的发电机包括调速器及调压器模型, 以便研究动态电压稳定。电机模型采用全阶模型, 能真实地反映电机内部的实际物理过程和动态负荷特性。另外, 本文主要研究机电动态特性, 忽略了保护的影响及电动机的低压释放特性。

2 电机负荷对电压稳定性的影响分析^[3~7]

为了研究电机负荷对系统电压稳定性的影响, 设置了负荷缓慢增加及输电线路损失两种扰动事件, NLOAD 节点上的负荷为 $450 + j326$ MVA。下面讨论电机负荷分别占整个系统负荷的 64.3% 和 32.14% 两种情况, 系统的其余负荷用恒阻抗静态负荷表示。

2.1 系统负荷缓慢增加

进行事件仿真时, 保持负荷功率因数恒定, 节点 NLOAD 的负荷在 $t = 0 \sim 150$ s 时间段内按照每秒 0.4% 速率增加。

1) 电机负荷比例为 64.3% 的情况

大约在 66.493 s, 无功功率上升到最大值, 然后节点电压急剧下降, 系统发生电压崩溃。图 2、图 3 显示了这个结果。

从电压曲线的波动来看, 发电机的励磁电压迅速上升以补充不断增加的无功需求, 负荷点的电压暂时回升, 但由于系统的平衡已经破坏, 节点电压继续下降, 导致电机制动, 从节点上吸收大量的无功功率 (大约 4.371 p.u)。这意味着, 当所供应的电压低于某一值时, 如果电机没有被及时切除, 电机将从系统中消耗大量的无功功率, 使系统电压进一步恶

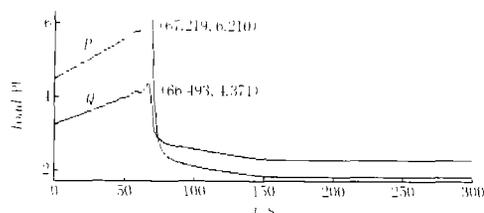


图2 节点 NLOAD 负荷缓慢增加直到电压崩溃

Fig 2 Power curves of node NLOAD with load increasing

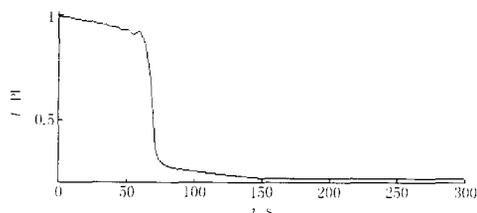


图3 NLOAD 节点电压的变化

Fig 3 Voltage curve of node NLOAD

化,最后导致电压崩溃。

2) 电机负荷比例为 32.14% 的情况

当 NLOAD 节点上的电机负荷比例为 32.14% 时,节点变量运行情况如图 4 和图 5 所示:

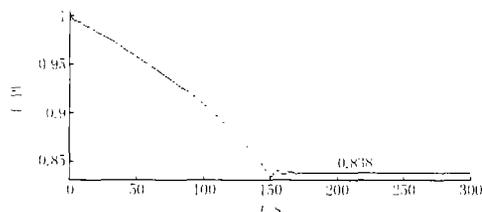


图4 NLOAD 节点电压的变化

Fig 4 Voltage curve of node NLOAD

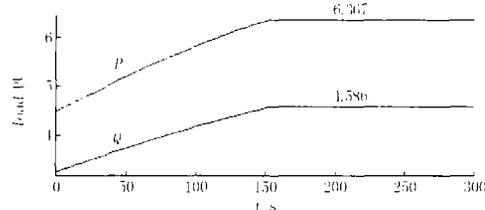


图5 NLOAD 节点上功率的变化

Fig 5 Power curve of node NLOAD

从图 4 和图 5 可以看出,与电机比例占 64.3% 的情况相比,尽管系统增加同样的负荷大小,但由于电机负荷增加的比例减少,系统没有出现电机制动的趋势,且很快趋于稳定。由于恒阻抗负荷随着节点电压的下降从电网吸取的功率也在下降,这有利于电压稳定,使电机负荷的极限点可能运行于 PV 曲线的下部,从而增大系统的电压稳定性。

2.2 输电线的损失

为了研究输电线损失时电机节点电压的变化,系统设置了在时间 $t=10$ s 时输电线 NHV1-NHV2-1 断开的事件。

1) 节点 NLOAD 上电机负荷比例为 64.3% 的情况

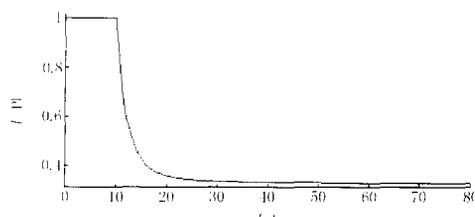


图6 NLOAD 节点电压的变化

Fig 6 Voltage curve of node NLOAD

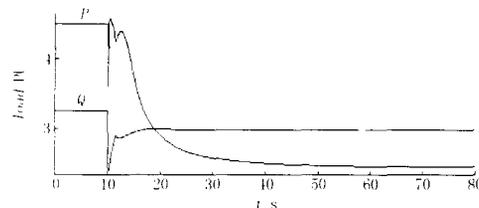


图7 NLOAD 节点上功率的变化

Fig 7 Power curve of node NLOAD

在系统重负荷下,输电线的跳开引起网络在高阻抗系统下运行,电压下降。电机终端电压被破坏,而且比负荷增加事件下降得更快,电机滑差单调增加,电压迅速崩溃。在最终崩溃之前负荷的需求功率和转距仅仅临时恢复。至于无功功率,由于输电线的扰动初始时下降,然后由于转子电路阻抗增加的影响,迅速增长,系统崩溃。

2) 节点 NLOAD 上电机负荷为 32.14% 的情况

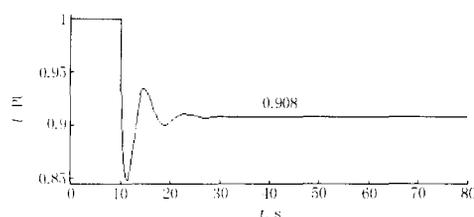


图8 NLOAD 节点电压的变化

Fig 8 Voltage curve of node NLOAD

从图 8 和图 9 可以观察到,当电机比例下降后,由于系统传输能力增加,在励磁电压的调节下系统电压能够稳定。

2.3 小结

1) 对感应电动机和恒阻抗组成的负荷,电动机比重越大,系统的电压稳定性就越脆弱。这是因为

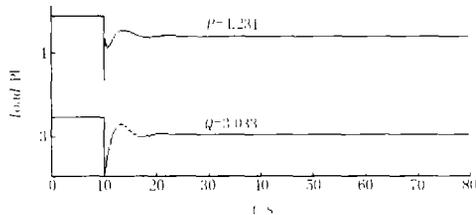


图9 NLOAD节点上功率的变化

Fig 9 Power curve of node NLOAD

当电压水平降低时,电机需要从系统中吸收更多的无功功率,电机比例越高,吸收的无功功率越多,从而使系统的最大传输能力降低。

2) 当电压较低时电机制动,电机从系统吸取的有功功率急剧下降而无功功率需求急剧上升,导致电压急剧恶化。

3) 电机负荷附近的输电线路损失引起网络在高阻抗系统下运行,可能会造成系统电压的不稳定。

4) 对应于给定的系统电压,感应电机有一个最大电磁转矩。如果由于负荷增加或系统电压降低而使负荷转矩超过了最大值,电机就会减速。电机制动后引起系统过负荷和电压进一步恶化,可能会引起输电线路和发电机的跳闸,导致几秒钟内区域的崩溃。

3 结束语

系统中各动态元件如发电机及调节系统、OLTC、负荷特性、HVDC、SVC的动态以及元件的非特性对系统稳定性起着重要的作用,而负荷特性则是其中的关键环节。通过分析可知,影响电压稳定的因素主要是综合负荷中感应电动机负荷所占的比重、感应电动机的特性以及所带负荷的特性。电压失稳可能从电机负荷较重的节点开始蔓延,对于这样的节点可以采取增加系统最大传输能力,使用电压调节器,快速无功功率补偿等措施来改善电机节点的电压性能。

参考文献:

- [1] 袁季修. 电力系统安全稳定控制 [M]. 北京: 中国电力

出版社, 1996

YUAN Ji-xiu Power System Security and Stability Control [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996

- [2] 石磊, 张毅威. 对 WSCC1996年 7月 2日及 8月 10日事故所做的系统稳定性分析 [EB/OL]. [ftp://166.111.60.30/ywzhang](http://166.111.60.30/ywzhang)
SHI Lei, ZHANG Yi-wei Analysis of System Stability for WSCC Accident in July 2 and August 10, 1996 [EB/OL]. [ftp://166.111.60.30/ywzhang](http://166.111.60.30/ywzhang)
- [3] Omata T, Uemura K Aspects of Voltage Responses of Induction Motor Loads [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13 (4): 1337-1344.
- [4] Gustafsson M N, Krantz N V, Daalder J E Voltage Stability: Significance of Load Characteristics and Current Limiters [J]. IEE Proc—Gener, Transm and Distrib, 1997, 144 (3): 258-263.
- [5] 余耀南, ZHANG Wen-jie 包含负荷及系统动态的电力系统电压稳定仿真 [J]. 电网技术, 1995, 19 (11): 11-17.
YU Yao-nan, ZHANG Wen-jie Simulation of Power System Voltage Stability Including Load and System Dynamics [J]. Power System Technology, 1995, 19 (11): 11-17.
- [6] Prabha Kundur Power System Stability and Control [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002
Prabha Kundur Power System Stability and Control [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.
- [7] Zeng Y G, Berizzi A, Maranna P. Voltage Stability Analysis Considering Dynamic Load Model [A]. Proceeding of the International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, Apcom-97. Hong Kong: 1997. 396-401.

收稿日期: 2004-07-02; 修回日期: 2004-09-21

作者简介:

郭琼 (1969 -), 女, 讲师, 在读硕士, 主要从事电力系统动态安全分析教学研究;

李晨晖 (1963 -), 女, 副教授, 主要从事电工技术教学工作。

Simulation and analysis of voltage stability concerning induction motors dynamics

GUO Qiong^{1,2}, LI Chen-hui³

(1. Dept of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2 Qinghai University, Xining 810016, China; 3. Guilin Technological Academy of Aeronautics and Astronautics, Guilin 541004, China)

Abstract: The paper simulates a three-phase system, analyzes influence of induction motor dynamics on voltage stability, and gives methods to improve voltage stability of induction motor nodes

Key words: induction motor; load characteristics; voltage stability; voltage collapse