

发电机频率调节特性对静态电压稳定的影响

姚玉斌, 朱发国, 陈学允, 郭志忠

(哈尔滨工业大学电气工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

【摘要】 发电机出力增长方式对静态电压稳定临界点的影响较大,在考察不同的发电机出力增长方式下的静态电压稳定临界值的差异的基础上,结合发电机频率调节的特点,提出了一种按发电机频率调节特性决定发电机出力来求取静态电压稳定临界点的方法。分析和算例表明此方法符合电力系统的实际情况。

【关键词】 电压稳定; 电压崩溃; 电压稳定临界值; 频率调节特性

1 引言

静态电压稳定的研究一般都是基于潮流方程进行研究的,如最大功率法、灵敏度法、潮流多解法、奇异值分解法、特征结构分析法、连续法^[1-3]、崩溃点法^[1]等等。这些方法本质上都是把电力网络输送功率的极限状态作为静态电压稳定的临界点,不同之处在于如何求取临界点,这些方法各有自己的特点。

发电机出力增长方式对静态电压稳定临界值的影响很大,因而随着负荷的增加,如何处理发电机出力增长方式是准确求取电压稳定临界点的一个重要因素。目前,常用的发电机出力增长方式有仅增加平衡节点的发电机出力,或按发电机初始出力比例增加部分(或全部)发电机的出力^[3],这些处理方式与电力系统的实际运行情况不符。文^[4]提出的考虑功频静特性的连续潮流法,合理考虑了电力系统实际运行中系统频率变化与系统负荷变化及发电机有功出力变化的关系,提出按发电机频率调节特性决定发电机出力增长方式的方法,本文在此基础上,进一步对电力系统在不同负荷水平、负荷分布及不同的考察点方面,考察发电机出力增长方式对静态电压稳定临界值的影响。

2 负荷变化与发电机调频特性

基于潮流计算分析电力系统问题往往都把系统频率当作定值,负荷的变化引起的功率差额直接由平衡节点的发电机来平衡,或由部分(或全部)发电机按初始有功功率的比例增加功率来平衡。而电力系统实际运行中,负荷的变化引起频率波动,频率波动使得负荷和发电机的有功功率按频率调节效应而变化,从而实现新的平衡,这种以系统的功频静特性进行的有功功率的调节,即为频率一次调节。如果负荷变化较大,一次调节不一定能保证频率偏移

在允许范围内,则应该由调频厂(或调频机组)进行频率的二次调节。

根据以上分析可见,常用的仅增加作为平衡节点的发电机出力的发电机出力增长方式,或按发电机初始出力比例的发电机出力增长方式,与电力系统的实际运行情况不符。

负荷功率与频率的关系为:

$$P_D = P_{DN} + k_1 P_{DN} (f/f_N) + k_2 P_{DN} (f/f_N)^2 + k_3 P_{DN} (f/f_N)^3 + \dots \quad (1)$$

式中, $k_0 + k_1 + k_2 + k_3 + \dots = 1$, P_{DN} 为额定频率下的负荷功率。

当频率偏离额定值不大时,负荷的静态频率特性常用一条直线近似表示,

$$P_D = P_{DN} (1 + k_D f/f_N) \quad (2)$$

发电机有功出力的静态频率特性为:

$$P_G = P_{GN} (1 - k_G f/f_N) \quad (3)$$

式中: k_G 、 k_D 分别为发电机组功频静特性系数和负荷的频率调节效应系数, f 为系统频率相对于额定频率的变化量。

3 考虑功频静特性的潮流计算

为了使潮流计算结果符合实际运行情况,进行潮流计算时,应该考虑系统的频率特性。

把式(2)和式(3)代入节点功率方程,得到考虑静态频率特性的节点功率方程如下:

$$\begin{cases} P_i = P_{is} - P_i = P_{is} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + j B_{ij} \sin \theta_{ij}) = 0 \\ Q_i = Q_{is} - Q_i = Q_{is} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - j B_{ij} \cos \theta_{ij}) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中,

$$\begin{cases} P_{is} = P_{iGN} + P_{iDN} + (P_{iDN} k_D - P_{iGN} k_G) f/f_N \\ Q_{is} = Q_{iG} + Q_{iD} \end{cases} \quad (5)$$

式(4)包含 n 个所有节点的有功功率不平衡量方程式和 m 个 PQ 节点的无功功率不平衡量方程式,未知量包括 $n-1$ 个节点的电压相角(另一个节点为参考电压,电压相角为零), m 个 PQ 节点的电压幅值和频率变化量 f ,比常规潮流方程多了一个未知数 f 和一个原来平衡节点的有功功率的增量方程,从而得到了考虑系统的频率特性的潮流计算基本方程如下:

$$\begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} H & N & \bar{F} \\ J & L & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \bar{D}_2^{-1} \\ V \\ f \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中, $f = \dot{f}$

解这个潮流方程,可得到 f ,如果 f 大于限值,把 f 定为限值,计算出 P_G 、 P_D ,再按常规潮流重新计算。

4 发电机频率调节特性对静态电压稳定的影响

频率调节特性对静态电压稳定的影响是通过频率调节特性使负荷的有功功率发生变化以及决定发电机的有功出力增长方式来实现的。下面分别从不同的方面考察一下频率调节特性对静态电压稳定的影响。

发电机出力增长方式对静态电压稳定临界值的影响很大。本文采用以下三种方式:

方式 1:不考虑频率调节特性,仅增加平衡节点的发电机出力。

方式 2:不考虑频率调节特性,按发电机初始出力的比例增加发电机出力。

方式 3:考虑频率调节特性(各发电机组的工频静特性系数取表 1 的 k_{GI}),如果频率超限,把频率定为限值,再增加平衡节点的发电机出力。

$f_{\max} = 0.5 \text{ Hz}$,负荷的静态特性取系统平均值 $k_D = 1.5$,各发电机组的功频静特性系数如表 1。

表 1 各发电机组的功频静特性系数

发电机节点号	1	2	3	4	5	6
功频静特性系数 k_{GI}	25.0	21.0	17.0	21.0	25.0	21.0
k_{G2}	17.0	25.0	25.0	19.0	17.0	25.0

4.1 不同发电机出力增加方式

对于电科院约定考核题 22 节点系统,选取节点 19 按功率因数恒定增加负荷,分别取不同发电机出力增长方式,求取电压稳定的电压临界值和有功功率临界值。

表 2 不同的发电机出力增长方式下,节点 19 的电压稳定临界值

发电机出力增长方式	临界有功功率	临界电压
方式 1	2.59012	0.81177
方式 2	3.40156	0.75906
方式 3	3.96644	0.72244

从表 2 可以看出,不同的发电机出力增长方式下,电压稳定临界值的相差很大,其中,方式 3 与方式 1 的有功功率的临界值相差为 34.7%,方式 3 与方式 2 的有功功率的临界值相差为 14.2%。

4.2 不同的发电机组功频静特性系数

当发电机组的功频静特性系数改变时(如取表 1 的 k_{G2}),其它条件同方式 3,求取电压稳定的有功功率临界值为 3.93297、电压临界值为 0.72310,与表 2 的方式 3 的值也有所不同,因此,可以通过调整发电机组的功频静特性系数来提高静态电压稳定的裕度。

4.3 不同负荷分布

考察不同负荷分布时,不同的发电机出力增长方式对电压稳定临界值的影响,在总负荷不变的情况下,分别取节点 19 及其附近负荷增加为原来负荷的 1.1 倍和降低为原来负荷的 0.9 倍,求取电压稳定的电压临界值和有功功率临界值见表 3。

表 3 节点 19 及其附近负荷变化时,节点 19 的电压稳定临界值

负荷变化量	发电机出力增长方式	临界有功功率	临界电压
1.1 倍	方式 1	2.32346	0.80350
	方式 2	2.93942	0.76623
	方式 3	3.21438	0.73819
0.9 倍	方式 1	2.76638	0.82316
	方式 2	3.73567	0.75836
	方式 3	4.04565	0.72111

4.4 不同负荷水平

分别考察负荷水平为原来负荷的 1.1 倍与 1.2 倍的情况下,求取电压稳定的电压临界值和有功功率临界值见表 4。

表 4 负荷水平变化时,节点 19 的电压稳定临界值

负荷水平	发电机出力增长方式	临界有功功率	临界电压
1.1 倍	方式 1	1.92373	0.83097
	方式 2	2.40360	0.80258
	方式 3	2.66906	0.77411
1.2 倍	方式 1	1.17292	0.85092
	方式 2	1.24098	0.84719
	方式 3	1.37117	0.82793

从表 4 可以看出,在不同负荷水平的情况下,不同的发电机出力增长方式下对电压稳定临界值的影

响有一定的差别,一般地,负荷水平越轻,发电机出力增长方式对电压稳定临界值影响的差别越大。

4.5 不同负荷考察点

对于 IEEE30 节点系统,选取节点 30 按功率因数恒定增加负荷,分别取不同发电机出力增长方式,求取电压稳定的电压临界点和有功功率临界值,发电机出力增长方式同上。

表5 IEEE30 节点系统的节点 30 增加负荷时,节点 30 的电压稳定临界值

发电机出力增长方式	临界有功功率	临界电压
方式 1	0.48314	0.59427
方式 2	0.48327	0.59771
方式 3	0.48327	0.59678

从表 5 可以看出,不同的发电机出力增长方式下,电压稳定临界点的相差很小,原因在于节点 30 位于系统的末端,距各发电机较远,各发电机的功率分配变化对电压稳定临界值的影响不大。

5 结论

5.1 发电机出力增长方式对静态电压稳定临界点的影响很大。目前,常用的仅增加作为平衡节点的发电机出力的发电机出力增长方式,或按发电机初始出力比例的发电机出力增长方式,与电力系统的实际运行情况不符,并且不同发电机出力增长方式对静态电压稳定临界点的影响很大。因而分析静态电压稳定问题,求取静态电压稳定裕度,要合理考虑发电机出力增长方式,分析与算例表明,本文提出的考虑频率调节特性的发电机出力增长方式是合理的。

5.2 发电机组的功频静特性系数改变时,求取电压稳定临界值也有所不同,因此,可以通过调整发电机组的功频静特性系数来提高静态电压稳定的裕度。

5.3 在不同负荷水平的情况下,不同的发电机出力增长方式对电压稳定临界点的影响有一定的差别,一般地,负荷水平越轻,发电机出力增长方式对电压稳定临界点影响的差别越大。

5.4 不同的负荷考察点,发电机出力增长方式对电压稳定临界点的影响不同,节点位于系统的末端,距各发电机较远时,各发电机的功率分配变化对电压稳定临界点的影响不大。

[参考文献]

- [1] Claudio A Canizraes, Fernando L Alvrado. Point of Collapse and Continuation Methods for Large AC/DC Systems. IEEE Trans on PWRs, 1993, 8(1): 1~8.
- [2] Venkataramana Ajjarapu, Colin Christy. The Continuation Power Flow: A Tool for Steady State Voltage Stability Analysis. IEEE Trans on PWRs, 1992, 7(1): 416~423.
- [3] 周双喜,冯治鸿,杨宁.大型电力系统 PV 曲线的求取.电网技术,1996,20(8): 4~8.
- [4] 姚玉斌,陈学允.考虑功频静特性的连续法静态电压稳定分析.全国电力系统及其自动化专业第十四届年会论文集.哈尔滨.1998.

收稿日期:1998—12—07

作者简介:姚玉斌(1965-),男,博士研究生,主要研究方向为电力系统电压稳定分析与控制;朱发国(1972-),男,博士研究生,主要研究方向为电力系统电压稳定分析与控制;陈学允(1934-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统稳定性分析与控制。

THE INFLUENCE OF GENERATOR FREQUENCY REGULATION CHARACTERISTICS ON STATIC VOLTAGE STABILITY

YAO Yu-bin, ZHU Fa-guo, CHEN Xue-yun, GUO Zhi-zhong
(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract The increase pattern of generator power output is one of significant facts impacting on static voltage stability. After investigate the difference of static voltage stability values under different increase pattern of generator power output, and considering the actual situation of generator frequency regulation. A method which acquire the critical value of static voltage stability by determining generator power output according to generator frequency regulation characteristic is presented. The analysis and simulation results indicate that this method is tally with actual operational condition of power system.

Keywords voltage stability; voltage collapse; voltage stability critical value; frequency regulation characteristics