

藏区孤网 QV 特性与过电压风险防控

孙昕炜¹, 史华勃¹, 唐伟¹, 赖勇², 余莉娜³

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041;

2. 国网昌都供电公司, 西藏 昌都 854000; 3. 中国三峡新能源有限公司西南分公司, 四川 成都 610023)

摘要: 工频过电压问题是威胁四川藏区偏远山区孤网运行时的主要问题。首先提出了适用于偏远山区电网孤网运行的 $N-1$ 校核标准。在此基础上, 以四川藏区典型结构的电网为例, 从稳态 QV 特性以及考虑发电机低励限制的机电暂态特性的角度, 分析了偏远山区电网孤网运行时的过电压产生机理。最后, 提出了降低偏远山区电网孤网运行过电压风险的运行措施。所做研究对于提升偏远山区电网运行的安全稳定性具有指导性意义。

关键词: 孤网运行; 工频过电压; QV 特性; 低励限制; $N-1$ 校核

中图分类号: TM71 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)01-0010-04

DOI: 10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.01.002

Q - V Characteristic and Overvoltage Prevention for Isolated Power Grid in Tibetan Area of Sichuan Province

Sun Xinwei¹, Shi Huabo¹, Tang Wei¹, Lai Yong², Yu Lina³

(1. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. State Grid Cangdu Power Supply Company, Changdu 854000, Tibet, China; 3. China Three Gorges New Energy Limited Company Southwest Branch, Chengdu 610023, Sichuan, China)

Abstract: Power - frequency overvoltage is a major threat to the isolated power grid of remote mountainous areas in Tibetan area of Sichuan province. Firstly, a novel $N-1$ check principle for isolated power grid in remote mountainous areas is proposed. Furthermore, the mechanism of power - frequency overvoltage in isolated power grid is analyzed based on steady - state Q - V model and electromechanical transient model with consideration of low excitation limit. Finally, the countermeasures to reduce the damage of power - frequency overvoltage are presented. This research is helpful for promoting the security level of the isolated power grid in remote mountainous areas.

Key words: isolated operation; power - frequency overvoltage; Q - V characteristic; low excitation limit; $N-1$ check

0 引言

四川偏远山区的电网通过长距离交流线路连接, 这些地区水电资源丰富, 但当地的负荷水平较低。正常情况下, 偏远地区电网向主网提供电能。但在某些特殊情况下, 例如线路检修、新站投运, 或者突发性自然灾害的条件下, 地区电网需要保持孤网运行。由于孤网的运行特性存在一些特殊性, 且这些地区的电网往往存在设备老旧、备用不足等等

问题, 若运行方式、风险防控措施安排不当, 极易造成较大事故。因此, 研究偏远山区电网孤网的运行特性及风险防控措施是很有必要的。

传统对于孤立电网运行的研究主要侧重于电网的频率稳定问题^[1-2]。对于藏区孤网而言, 这些地区的发电机电容量和负荷相比比较充裕, 频率稳定问题并不突出。然而, 由于偏远山区电网通过长距离交流线路相连, 线路充电无功较大, 导致孤网中易出现工频过电压, 机组超出进相能力运行。因此, 偏远山区孤网的无功电压特性及过电压风险防控问题应该受到关注。文献[3]研究了偏远

地区孤网解列过程中高频、高压的相互影响以及发电机低励限制对过电压的影响。但是,某些偏远山区电网的主要矛盾并非是频率稳定或者高频高压相互作用,而是以电压稳定为主,且励磁控制在这类过电压问题当中也起到了非常关键的作用。此外,在线路检修、新站投运等情况下,偏远山区孤网持续运行时间较长,可以到一个月甚至数月。这种情况下,原则上应按照主网架的 $N-1$ 原则进行校核。但是偏远山区的电力系统网架薄弱,传统的 $N-1$ 校核标准过于严苛,如何合理考虑电网运行风险也是亟待研究的问题。因此针对以过电压问题为主的孤网进行 QV 特性以及过电压风险的研究对电网的安全运行有重要的意义。

下面首先分析了偏远山区孤网高电压风险的机理,提出适用于偏远山区孤网运行的 $N-1$ 校核原则以及过电压的形成机理。然后以四川某偏远山区孤立电网为例,研究了该系统孤网运行情况下的稳态 QV 特性以及考虑发电机 AVR 与附加低励限制环节特性的动态电压特性。最后根据理论分析及仿真结果,给出了抑制偏远山区孤立电网过电压风险的可行措施。

1 偏远山区孤网的高电压风险分析

1.1 $N-1$ 故障后的工频过电压问题

偏远山区孤网系统联系薄弱,备用不足,按照传统的 $N-1$ 标准进行校核很难满足要求。这些孤网系统在发生 $N-1$ 故障后丢失负荷甚至垮网都难以避免。在这种情况下,应该退而求其次,针对 $N-1$ 故障后可能导致的设备因过电压损坏的情况进行重点防范,以确保孤网系统在发生故障以后能够短期内恢复供电,减少停电损失。

偏远山区线路输电距离较长,充电无功大,因此在负荷轻的时候往往需要投入低压电抗器以应对系统的无功过剩,防止系统工频过电压以及发电机超出进相能力运行。

1.2 AVR 作用

AVR 的调节控制见图 1。在孤网高峰负荷下,若发生 B 站电网下网的 110 kV 线路 $N-1$ 的故障,系统当中同时出现有功过剩和无功过剩的情况。此时由于文献 [3] 中的分析,高频对高压有一定促进作用,会造成过电压水平高于单纯的无功过剩导致

的过电压。并且,由于该过程中过电压和频率产生联系,使得过电压和发电机的机电暂态过程耦合,增加了分析的复杂度。

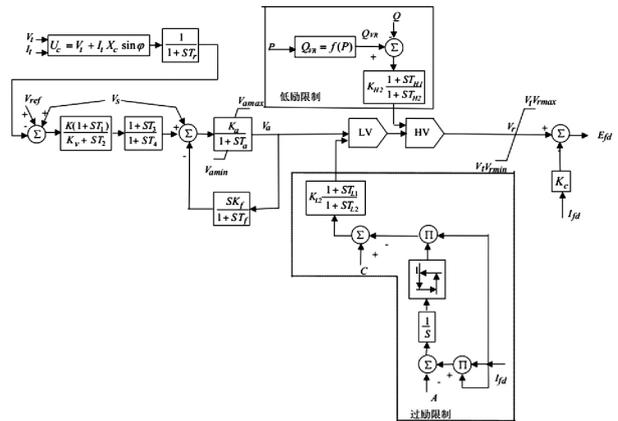


图 1 11 型 AVR 控制框图

1.3 低励限制环节不能起到正确的作用

低励限制的基本逻辑是通过抬升电压,达到减少机组进相无功的目的。由于无功总是从电压高处向电压低处流动,不同支路的无功分配又取决于电压差和支路电抗。因此在大电网中,抬升机端电压会使得发电机机端和系统的电压差减小,无功潮流重新分配,流入发电机的感性无功减少,从而降低发电机的进相。但是在所研究的电网当中(如图 2 所示)A 电厂机组的容量比其余小水电机组的容量大很多,即使抬升 A 电厂机组的机端电压,对改变无功潮流的作用也有限,反而使得系统电压水平上升,充电无功增大,进一步增加了 A 电厂机组的进相水平。因此, A 电厂机组的低励限制不仅不会降低机组的进相,反而会使进相持续增加,直到 AVR 的某个限幅环节起作用为止(低励输出限幅或 E_{fd} 限幅)。进一步可以推知,在单个电厂占主导的孤网系统当中,由于无功电压特性和联网方式有较大区别,机组的低励限制环节是没有发挥应有的作用的。

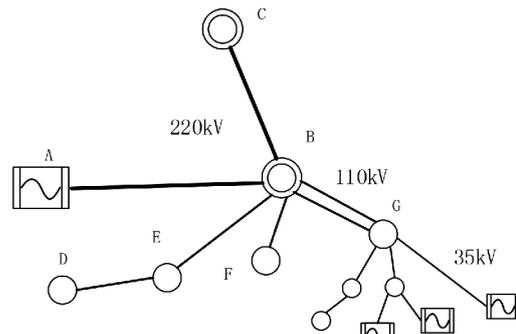


图 2 某偏远山区电网结构

2 孤网无功电压特性分析

算例电网(见图2)较长时间的孤网运行,需考虑 $N-1$ 风险。由于该电网内联络线路长、充电无功较大,工频过电压问题将成为影响该电网安全稳定的关键因素。因此,合理设置孤网的运行点,包括机组的机端电压和投退的低抗数量,才能使得该孤网的电压运行在安全范围内。

2.1 算例电网结构

该偏远山区孤网由A电厂经220 kV双回交流线连接到220 kV变电站B,再经110 kV双回线连接至110 kV变电站G。整个孤网呈树形结构,在变电站G下有少数35 kV上网的小水电,但小水电容量和电厂A相比显著较小,这些机组的进相能力对抑制主网架的过电压几乎没有帮助。因此,在考虑过电压的问题时,该地区电网可以近似看做一个单机系统。

2.2 小方式下的电压特性

A电厂开一台机组,B-C线路投运,小水电全部退出。A电厂机组机端电压设定为最低值9.975 kV。该方式下,A电厂机组由于容量较大,进相能力足够,因此无需退出B-C线路。调节此电网电压的手段主要有投切B变电站35 kV低压电抗器(每组6 Mvar),以及调节A电厂机端电压。下面研究这两种调节手段的效果。

投切低压电抗器对A电厂机组进相以及重要节点电压的影响如表1所示。投入低压电抗器的情况下,系统中的无功消耗增加,因此需要A电厂进相减少以平衡无功。同时无功富余也导致了系统的电压下降。

考虑B变电站投入两组低压电抗器情况下,A电厂机组的机端电压对孤网中重要母线及A电厂机组进相的影响如表2所示。

可以看出,抬高A电厂的机端电压,导致系统电压也随之升高。由于系统呈容性,电压升高导致了网络中无功产生增加。由于孤网系统中其余发电机容量远小于A电厂发电机容量,其最终结果是多产生的无功几乎都流向了A电厂的机组,增加了A电厂机组的进相水平。

可见,对于所研究的这种以单台发电机进相为

表1 低压电抗器投切对重要母线电压及机组进相的影响

B 变电站 低压电抗器 投入组数	A 电厂机组 无功出力 /Mvar	B 变电站 220 kV 母线 电压/kV	G 变电站 35 kV 母线 电压/kV
0	-27.3	235.6	41.1
2	-11.6	226.2	38.9
3	-6.2	222.6	38.2
4	-0.3	218.6	37.3
3组低压电抗器, B-C线路跳闸	11.1	210.7	36.2

表2 机组机端电压对重要母线电压及机组进相的影响

A 电厂机组 机端电压 /kV	A 电厂机组 无功出力 /Mvar	B 变电站 220 kV 母线 电压/kV	G 变电站 35 kV 母线 电压/kV
10.0	-11.6	226.2	38.9
10.2	-12.0	230.8	39.7
10.4	-12.5	235.3	40.5
10.6	-13.0	239.8	41.2
10.8	-13.5	244.3	42.0
11.0	-14.0	248.8	42.8

主的系统,调高机端电压反而加重了发电机进相水平。这和大电网中的无功电压特性有区别。

2.3 孤网运行下 AVR 和低励限制动态特性分析

根据1.2节的发电机低励限制模型,搭建电磁暂态仿真模型,并进行B变电站35 kV母线故障切低压电抗器的仿真。分成有低励限制环节和无低励限制环节两种情况对切除低压电抗器后的暂态过电压进行了仿真分析,结果如图3所示。

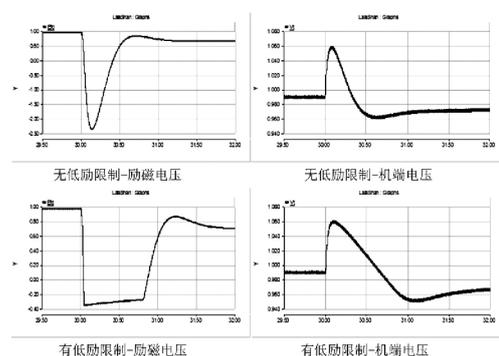


图3 机组低励限制对孤网过电压的影响

低压电抗器切除后损失无功负荷18 Mvar,系统无功富余较多,A电厂发电机超出最大进相深度运行,触发低励限制环节动作。如图3所示,低励限制环节动作后,励磁电压 E_f 抬升导致机端电压抬升。由于外部电网呈容性,反而导致发电机进相深度增加。

因此,可以看出在孤网运行时,如果退出机组的低励限制环节,反而可以使得系统获得更好的动态

特性,防止过电压损坏设备。

3 抑制高电压风险的技术措施

针对上节所分析的偏远地区孤网电压特性,综合考虑已有条件,针对该孤立电网,可行的过电压抑制方法如下:

1) 合理安排运行方式

选择充电无功少的路径为全网供电,减小孤网中长线路的充电无功,使得投入的低压电抗器也相应减小。此时,在 $N-1$ 损失低压电抗器后,系统富余的无功总量就会减小,从而降低系统的运行风险。

2) 低励限制退出运行

由前面理论分析和仿真分析可知,低励限制在某些孤网中不但不会降低发电机进相水平,反而还会加深进相水平,且带来系统的过电压问题。因此,退出低励限制可以使得发电机在孤网运行时获得更好的控制性能和安全性。

3) 紧急控制措施

条件允许情况下,考虑35 kV母线故障后的长线路解列措施,可以在发生 $N-1$ 后降低充电无功,将系统电压维持在安全的水平。

4 结 论

前面提出适用于偏远山区电网长期运行的 $N-1$

(上接第9页)

[68] 马艳峰,赵书强,魏清.基于遗传算法的交直流电力系统稳定器和附加控制器的协调[J].电力自动化设备,2004,24(5):75-79.

[69] Hsu X Y, Luor T S. Damping of Power System Oscillations Using Adaptive Thyristor-controlled Series Compensators Tuned by Artificial Neural Networks[J]. IEEE Proceeding - Generation, Transmission and Distribution, 1999, 146(2): 137-142.

[70] Houck C, Joines J, Kay M. A Genetic Algorithm for Function Optimization: A Matlab Implementation [M]. NCSU-IE TR 95-105, 1995.

[71] 汤广福.基于电压源换流器的高压直流输电技术[M].北京:中国电力出版社,2010.

[72] 李庚银,吕鹏飞,李广凯,等.轻型高压直流输电技术的发展与展望[J].电力系统自动化,2003,27(4):77-80.

[73] 常勇,李晶,张海燕.基于广域信号的柔性直流输电

准则,即发生 $N-1$ 故障后的设备安全准则。对于这类有功备用充足的系统,其长期孤网运行最大风险在于 $N-1$ 故障后的过电压问题。在稳态特性上,偏远山区电网的QV特性与大电网有明显区别,抬升机端电压会导致机组进相水平加深;在动态特性上,低励限制的投入对过电压和机组进相均起到恶化的作用。为了有效应对该电网的过电压风险,可以采取合理安排运行方式、退出低励限制以及紧急解列等措施。

参考文献

[1] 叶健忠,邹俊雄,龙霏,等.地区电网火电机组孤网运行频率控制策略研究[J].电力系统保护与控制,2012,40(7):123-128.

[2] 张培高,李兴源,李政.孤网频率稳定与控制策略研究[J].电力系统保护与控制,2012,40(15):143-149.

[3] 滕予非,张华,汤凡,等.偏远地区小电网与主网解列后高频高压风险及抑制策略[J].电力系统保护与控制,2015,43(1):129-136.

作者简介:

孙昕炜(1991),工程师,主要研究方向为电力系统稳定与控制;

史华勃(1987),工程师,主要研究方向为电力系统稳定与控制。

(收稿日期:2017-11-15)

附加阻尼控制[J].中国电力,2009,42(10):33-38.

[74] 张立奎,张英敏,李兴源,等.柔性直流附加鲁棒阻尼控制器设计[J].现代电力,2015,32(2):70-75.

[75] 郑超,周孝信.基于普罗尼辨识的VSC-HVDC附加阻尼控制器设计[J].电网技术,2006,30(17):25-30.

[76] 马锋,李国杰,阮思焯,等.基于线性变参数方法的VSC-HVDC变增益附加阻尼控制器设计[J].电网技术,2009,33(2):73-77.

作者简介:

郭磊(1990),硕士,研究方向为高压直流输电、电力系统稳定与控制;

张英敏(1974),博士、副教授、硕士生导师,研究方向为电力系统稳定与控制;

李兴源(1945),博士、教授、博士研究生导师,中国电机工程学会电力系统专委会委员、IEEE高级会员,从事电力系统稳定与控制、高压直流输电研究。

(收稿日期:2017-09-17)