

功均为0。但考虑到采集误差的影响,原本有功为0的时段内有很小的功率存在,不为0的有功时段内采集到很小甚至0功率,需要根据概率统计的方式剔除由于采集误差造成的不准确。根据SCADA系统实测数据,以2011年1月阿恰尔牵引变电站2号主变压器高压侧有功功率为例,如图2所示。

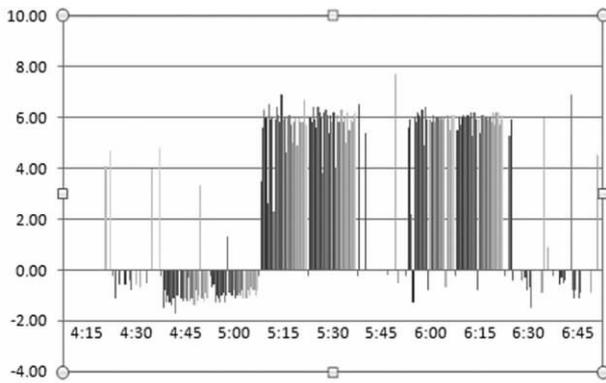


图2 2011年1月阿恰尔牵引变电站2号主变压器高压侧有功功率示意图(MW)

从图2中可以看出1月阿恰尔牵引变电站的送电情况。每日4:30分之前,牵引变电站接触网几乎没有功率流动,说明铁路上没有大规模的物力、人力运输,负荷较小,零星的负荷可能是铁路人员检修或采集系统造成的误差。4:30~5:00,有接近1 MW的功率流入供电臂内,说明即将有负荷较重的电力机车从阿恰尔牵引变电站送电范围内驶过,电力机车受电将从上一个牵引变电站接触网过渡到阿恰尔牵引变电站接触网,电力机车上的直流电机失去电源,由电动机状态转变为发电机状态向接触网供电。5:00~5:30,电力机车驶入阿恰尔牵引变电站供电范围内,牵引变电站开始给电力机车供电,主变压器向电力机车输送功率较大,达到6 MW左右。受天气、节假日、春运等因素对铁路运力造成的影响,电铁负荷在这一时段内仍然呈现随机性、波动性特点。从图中还可以看出,每日电铁负荷高峰均集中在5:00~5:30和5:45~6:15两时间段内,每日电铁负荷同时率较高,负荷较大,时间节点较为固定,由此推断出两时段内通行的列车均为客运列车。根据铁路运输相关规定,两列电力机车同向行驶时间间隔至少30 min,可以推断出5:45~6:15行驶的列车与5:00~5:30铁路上行驶的列车是相向而行的。其余时刻铁路上有零星的负荷,这是由于天气情况造成火车晚点、误点以及线路检修等原因造成的。

根据以上分析可知,精伊霍电气化铁路每日双向发行一趟客运列车,在每日5:00~5:30和5:45~6:15两时间段由阿恰尔牵引变电站供电,最大负荷为7.7 MW,最小负荷为4.2 MW,平均负荷达到5.9 MW。

2011年3月12日阿恰尔牵引变电站2号主变压器检修,由1号主变压器转带电铁负荷,以SCADA系统实测阿恰尔牵引变电站1号主变压器高压侧有功功率为例,如图3所示(3月12日至3月27日)。

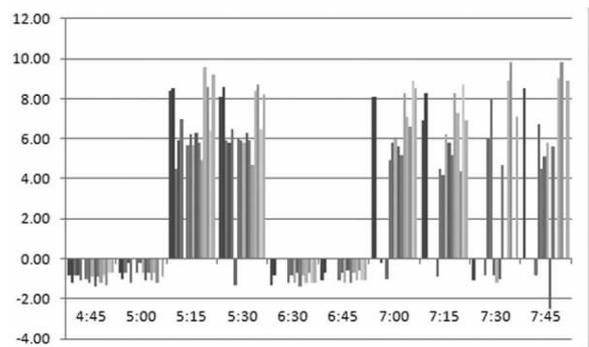


图3 2011年3月12日至27日阿恰尔牵引变电站1号主变压器高压侧有功功率示意图(MW)

从图3中可以看出,5:00~5:30通行的列车时刻表没有发生变化,而相向而行的列车由5:45~6:15改为6:45~7:15通过牵引站送电范围。由于改变送电方式,同时受天气原因、铁路状况、节假日的影响更加剧烈,阿恰尔牵引变电站3月份负荷同时率较1月份有明显的下降,列车通行时段内负荷波动性更加明显。同时,随着客运量的提升,传输功率也有了一定的增加。从图中可以看到5:00~5:30时段内电铁最大负荷为9.6 MW,最小负荷为4.2 MW,平均负荷为6.9 MW,最大峰谷差为5.4 MW。

对比1月份负荷特性柱状图,可以发现3月份电铁在阿恰尔牵引变电站供电范围内最大负荷较大,平均负荷以及最大峰谷差也较大,日负荷较1月有明显的升高。同时随着线路运行状况的不断改善,客运线路车次不断增加,铁路运力相应提高,使得负荷呈现出的波动性、时段性更加明显。

通过以上分析可知,了解了电铁负荷特性,同时把握了铁路运输的组织方式,对于电网部门更好地开展负荷预测、电压调整、谐波治理、供电可靠性等方面提供了切实的依据。

2 电气化负荷对地区电网的影响

目前伊犁电网所接的电气化铁路牵引变电站负荷主要以 110 kV 电压等级接入伊犁电网,在现场调查和实测的基础上,目前电气化铁路对伊犁电网的影响主要表现在如下几个方面:负荷预测、电压调整和控制、电压质量、继电保护方面。

2.1 负荷管理方面

电气化牵引负荷在有机车运行时,存在负荷,机车停运时,负荷消失,且列车行进过程中遇到的阻力也不断变化,列车需要频繁地启动、加速、惰行、制动(仅考虑单个牵引变电站供电范围内机车的启动次数,电气化铁路为 20 次以上),或者从一个供电区进入或退出,都将造成牵引负荷剧烈地波动,这些都使得牵引变电站负荷存在着随机性、无序性、冲击性,负荷随着机车进行波动,这对地区电网负荷预测准确性产生一定的影响,典型日负荷波动曲线具体参见图 5。

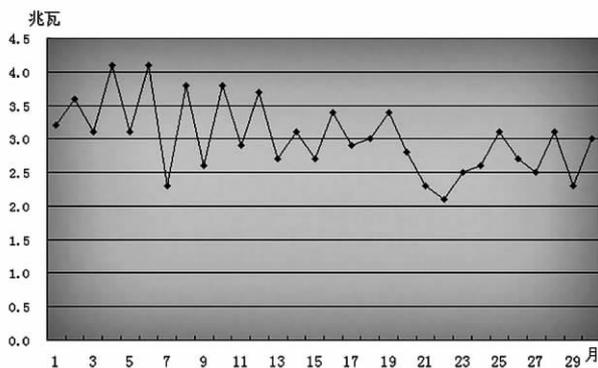


图4 伊东牵引变电站月负荷波动曲线

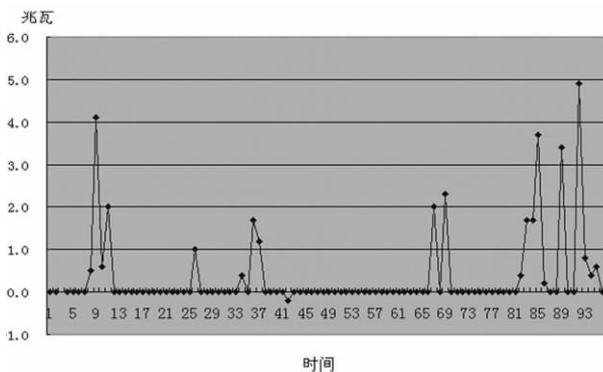


图5 伊东牵引变电站日负荷波动曲线

目前伊犁地区电网电铁负荷波动在 0 ~ 5 MW,且波动较快。这增加了负荷预测的难度,影响了准确性的提高,对于发电出力安排、地区上下网功率交

换均造成了影响。

2.2 电压控制方面

电铁牵引负荷在波动时,产生较大的冲击电流。产生最大电流突变量的主要原因是电力机车在合闸时内部变压器产生了励磁涌流,最大涌流幅值大约可达最大容量机车额定电流的 4 倍,在 PCC 点将产生较大的电压波动,电压的波动对与之相连的枢纽变电站电压调整和控制也产生较大的影响。典型日电压波动曲线具体参见图 6。

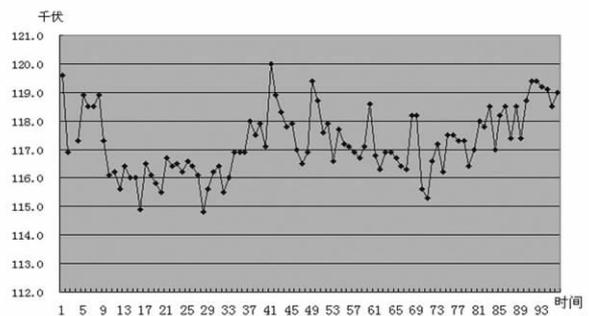


图6 枢纽变电站 110 kV 母线日电压波动曲线

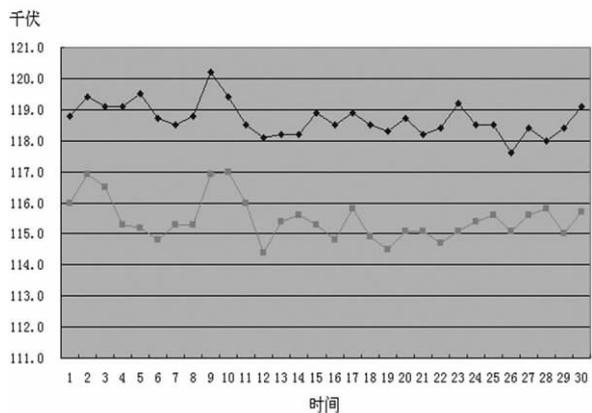


图7 枢纽变电站 110 kV 母线月电压波动曲线

从上图可以看出,日负荷波动较大时,对电压影响也较大,110 kV 电压日波动达到 6 kV 以上,若在负荷高峰时期,枢纽变电站电压较低时,易造成电压越限,这增大了枢纽变电站电压控制难度。若电铁交错,班次增多,之间间隔时间短,那么长时间闪变也会明显。突然的电压变化导致自动化控制装置停顿或误动、变频调速器停顿、电动机暂停,破坏生产,设备运行会变得困难、过热或导致绝缘性能不能满足实际电压的变化。长期或反复的电压波动会降低设备使用寿命,反复出现的电压波动可能导致计算机系统硬件损坏、死机、异常。还会造成电表转速加快,瞬流会严重影响感性电度表表盘的作用力矩和转速,使表盘发生阶跃式地转快。

2.3 对设备的影响

电铁牵引负荷由于产生负序电流,其负序电流造成三相电流不对称,因而会造成电力变压器三相电流中有一相电流增大,而不能有效发挥变压器的额定出力(变压器容量利用率下降)。另外,还造成变压器的附加能量损失,在变压器铁心磁路中产生附加发热。

电铁牵引负荷由于产生负序电流,其负序电流造成三相电流不对称,负序电流流过送电线路时,负序功率实际上并不做功,而只造成电能损失,增加了网损,降低了送电线路的输送能力。

2.4 对供电质量的影响

电铁牵引变电站所接的公共PCC点的各项电能指标与其短路容量有着密切的关系,短路容量越大,分配给牵引变电站负荷的限值就越大,电铁负荷对系统的相对影响就越小。电气化牵引变电站在设计时,其影响电能质量的校核通常采用最终规模的短路容量进行校核,在电气化牵引站接入时,其系统规模未达到最终规模,同时在系统运行方式变化时,系统的短路容量也不同。所以电铁牵引变电站所接的公共PCC点的各项电能指标也是一个动态变化,在系统小方式时,尤其是在后半夜时,公共点的各项指标均增大,过渡时期短路电流比设计短路电流小,将造成谐波增大。图8为枢纽变电站220kV母线短路电流变化图,从图中可以看出,短路电流是有一定变化的,因此需要加强对谐波的监测。

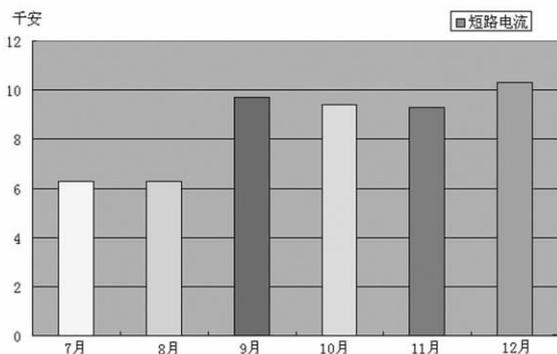


图8 枢纽变电站220kV母线短路电流变化图

3 针对电铁负荷对地区电网的影响所采取的措施

目前新疆正大力建设电气化铁路,同时电气化铁路牵引负荷也在快速增长,面对电铁牵引负荷增长的局面,需要积极应对,积极采取有效措施保证电

网安全稳定运行和最大限度地接纳电气化牵引负荷。

(1) 针对电气化铁路牵引负荷的波动性、无序性和随机性,加大对电铁牵引负荷的分析,掌握其运行规律的变化,通过对负荷的概率分布分析,找出其中的特性,便于更好地进行负荷预测和分析。

(2) 针对电气化铁路牵引负荷对电压的影响,加大分析力度,尤其是仿真分析,提前做好技术措施,防止电压波动幅度较大,确保电压合格。对电气化铁路接入的公共站,精心监控母线电压,有条件的加装动态无功补偿装置,以跟踪系统电压变化。

(3) 针对电气化铁路牵引负荷的冲击性、单相性、负序性,加大对设备的检测力度,定期进行设备运行状态评估,以提前发现问题、解决问题。

(4) 针对电气化铁路牵引负荷产生的谐波,加大对谐波的检测、治理和控制。定期进行谐波状态评估,以提前发现问题、解决问题。

4 结 语

对新疆电气化铁路负荷特性进行分析研究,总结出电气化铁路运行组织规律,同时结合地区电网提出电铁对地区电网的影响。掌握了电气化铁路的运行规律,可以提高电网负荷预测的准确性,同时对于电压调整、谐波治理、短路电流、供电质量等方面具有一定的指导意义。牵引供电系统是一个庞大而又复杂的系统,对其进行全面的分析是一项较为复杂的工作。今后的工作还有很多,如列车牵引运行过程的仿真以及电力列车动态仿真模型,计算各个变电所供电臂负荷依时间变化的全过程以及全列车运行的全过程等等,将在今后的学习和工作中在这些方面做进一步分析研究和探讨。

参考文献

- [1] 原媛. 电力负荷特性分析及中长期负荷预测方法研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2008.
- [2] 贺文武. 电力负荷特性统计分析方法研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2005.
- [3] 康重庆. 电力系统负荷预测[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [4] 赵希正. 中国电力负荷特性分析与预测[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001: 37-52-53.

(下转第76页)

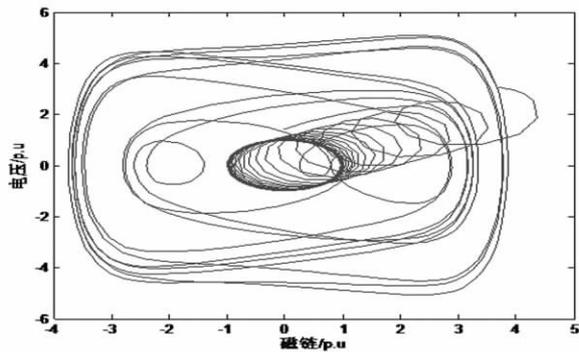


图9 混沌抑制的相平面图(异结构)

4 结 论

在基于系统稳定性理论的基础上,采用追踪控制与广义投影同步方法,设计合适的非线性反馈控制器,能够有效地实现同结构或异结构系统之间的混沌抑制与同步。数值仿真结果表明:该方法能够有效地实现铁磁谐振过电压混沌现象的抑制与同步。所设计的方法简单,易于实现,对抑制 110 kV 变电站时常发生的铁磁谐振过电压混沌现象具有一定的工程参考价值。

参考文献

[1] 贾红琴. 电磁式 PT 所致铁磁谐振过电压分析及抑制 [J]. 高电压技术 2000 26(1): 69 - 70.

[2] 李云阁, 施围. 母线间电容对铁磁谐振的影响 [J]. 高压电器 2004 40(2): 112 - 114.

[3] Z. Emin, B. A. T. Al Zahawi, D. W. Auckland, et al. Ferroresonance in Electromagnetic Voltage Transformers: A Study Based on Nonlinear Dynamics [J]. IEE Proceedings Online, 1997, 144(4): 383 - 387.

[4] Jacobson D. A. N. Examples of Ferroresonance in a High Voltage Power System [C]. Power Engineer Society General Meeting, Toronto, Canada, 2003: 1206 - 1212.

[5] 代姚, 司马文霞, 孙才新, 等. 应用 T - S 模糊方法对铁磁谐振过电压的混沌抑制 [J]. 高电压技术 2010 36(4): 878 - 883.

[6] 刘凡, 司马文霞, 孙才新, 等. 基于常值脉冲法的铁磁谐振过电压混沌抑制 [J]. 电网技术 2006 30(3): 57 - 51.

[7] 司马文霞, 郑哲人, 杨庆, 等. 用参数不匹配混沌系统的脉冲同步方法抑制铁磁谐振过电压 [J]. 电工技术学报 2012 27(6): 218 - 225 251.

[8] 徐勇. 电压互感器 V - I 特性对谐振影响的物理仿真 [J]. 高电压技术 1997 23(4): 61 - 64.

[9] 张博, 鲁铁成, 杜晓磊. 中性点接地系统铁磁谐振非线性动力学分析 [J]. 高电压技术 2007 33(1): 31 - 35.

[10] 蔡国梁, 黄娟娟. 超混沌 Chen 系统和超混沌 R_össler 系统的异结构同步 [J]. 物理学报 2006 55(8): 3997 - 4004.

[11] 闵富红, 王执铨. 复杂 Dynamos 混沌系统的追踪控制与同步 [J]. 物理学报 2008 57(1): 31 - 36.

[1] 贾红琴. 电磁式 PT 所致铁磁谐振过电压分析及抑制 [J]. 高电压技术 2000 26(1): 69 - 70.

[2] 李云阁, 施围. 母线间电容对铁磁谐振的影响 [J]. 高压电器 2004 40(2): 112 - 114.

[3] Z. Emin, B. A. T. Al Zahawi, D. W. Auckland, et al. Ferroresonance in Electromagnetic Voltage Transformers: A Study Based on Nonlinear Dynamics [J]. IEE Proceedings Online, 1997, 144(4): 383 - 387.

[4] Jacobson D. A. N. Examples of Ferroresonance in a High Voltage Power System [C]. Power Engineer Society General Meeting, Toronto, Canada, 2003: 1206 - 1212.

[5] 代姚, 司马文霞, 孙才新, 等. 应用 T - S 模糊方法对铁磁谐振过电压的混沌抑制 [J]. 高电压技术 2010 36(4): 878 - 883.

[6] 刘凡, 司马文霞, 孙才新, 等. 基于常值脉冲法的铁磁谐振过电压混沌抑制 [J]. 电网技术 2006 30(3): 57 - 51.

[7] 司马文霞, 郑哲人, 杨庆, 等. 用参数不匹配混沌系统的脉冲同步方法抑制铁磁谐振过电压 [J]. 电工技术学报 2012 27(6): 218 - 225 251.

[8] 徐勇. 电压互感器 V - I 特性对谐振影响的物理仿真 [J]. 高电压技术 1997 23(4): 61 - 64.

[9] 张博, 鲁铁成, 杜晓磊. 中性点接地系统铁磁谐振非线性动力学分析 [J]. 高电压技术 2007 33(1): 31 - 35.

[10] 蔡国梁, 黄娟娟. 超混沌 Chen 系统和超混沌 R_össler 系统的异结构同步 [J]. 物理学报 2006 55(8): 3997 - 4004.

[11] 闵富红, 王执铨. 复杂 Dynamos 混沌系统的追踪控制与同步 [J]. 物理学报 2008 57(1): 31 - 36.

[1] 贾红琴. 电磁式 PT 所致铁磁谐振过电压分析及抑制 [J]. 高电压技术 2000 26(1): 69 - 70.

[2] 李云阁, 施围. 母线间电容对铁磁谐振的影响 [J]. 高压电器 2004 40(2): 112 - 114.

[3] Z. Emin, B. A. T. Al Zahawi, D. W. Auckland, et al. Ferroresonance in Electromagnetic Voltage Transformers: A Study Based on Nonlinear Dynamics [J]. IEE Proceedings Online, 1997, 144(4): 383 - 387.

[4] Jacobson D. A. N. Examples of Ferroresonance in a High Voltage Power System [C]. Power Engineer Society General Meeting, Toronto, Canada, 2003: 1206 - 1212.

[5] 代姚, 司马文霞, 孙才新, 等. 应用 T - S 模糊方法对铁磁谐振过电压的混沌抑制 [J]. 高电压技术 2010 36(4): 878 - 883.

[6] 刘凡, 司马文霞, 孙才新, 等. 基于常值脉冲法的铁磁谐振过电压混沌抑制 [J]. 电网技术 2006 30(3): 57 - 51.

[7] 司马文霞, 郑哲人, 杨庆, 等. 用参数不匹配混沌系统的脉冲同步方法抑制铁磁谐振过电压 [J]. 电工技术学报 2012 27(6): 218 - 225 251.

[8] 徐勇. 电压互感器 V - I 特性对谐振影响的物理仿真 [J]. 高电压技术 1997 23(4): 61 - 64.

[9] 张博, 鲁铁成, 杜晓磊. 中性点接地系统铁磁谐振非线性动力学分析 [J]. 高电压技术 2007 33(1): 31 - 35.

[10] 蔡国梁, 黄娟娟. 超混沌 Chen 系统和超混沌 R_össler 系统的异结构同步 [J]. 物理学报 2006 55(8): 3997 - 4004.

[11] 闵富红, 王执铨. 复杂 Dynamos 混沌系统的追踪控制与同步 [J]. 物理学报 2008 57(1): 31 - 36.

作者简介:

何波 (1987) 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统过电压;

康积涛 (1962) 男, 教授, 研究方向为电力调度自动化系统、电力系统无功优化、电压稳定性、嵌入式测控装置和工业监控组态软件的研究。

(收稿日期: 2012 - 10 - 10)



(上接第 36 页)

[5] 林海雪, 周胜军. 电气化铁路的谐波标准问题 [J]. 中国电力 1999(9): 55 - 58.

[6] 刘遵义, 杨红旗. 电气化铁路对河南电网电能质量的影响(讲义) [R].

[7] 刘付平, 阮联生. 负序电流对电力系统的危害(讲义) [R].

[8] 吴竞昌主编. 供电系统谐波 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.

[9] 铁道部第二勘测设计院. 牵引供电系统 [R].

[10] 林舜江, 李欣然, 刘杨华, 等. 电力负荷特性分类方法研究 [J]. 电力系统自动化 2005(22): 33 - 38.

[11] 鞠平, 金艳, 吴峰, 等. 综合负荷特性的分类综合方法

及其应用 [J]. 电力系统自动化 2004 28(1): 64 - 68.

[12] 贺仁睦, 周文. 电力系统负荷模型的综合与分类 [J]. 电力系统自动化 1999 23(19): 12 - 16.

[13] Mural Fabrioglu, Fernando L. Alvarado. Designing Cost Effective Demand Management Contracts Using Game Theory [C]. IEEE PES Winter Meeting, New York, January 1999.

[14] Mural Fabrioglu, Fernando L. Alvarado. Using Utility Information to Calibrate Customer Demand Management Behavior Models [J]. IEEE Trans. on Power Systems, 2001 16(2): 317 - 322.

(收稿日期: 2012 - 09 - 25)