

空调负荷对电压稳定影响的研究

韩北渝,王 漪,李晓明,柳 焯

(哈尔滨工业大学电气工程系,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 在空调负荷试验中,提出了用负荷转移的方法来解决电源负荷匹配与空调启动电流大的矛盾,并对试验的结果进行了分析研究。文中首次用摄动原理,在 s - V 空间中,对空调阻抗模值变化与电压稳定的关联作了理论解析。最后,本文还从防灾减灾的角度讨论了空调有关问题。

关键词: 空调负荷; 电压稳定; 摄动原理; s - V 空间

中图分类号: TM712

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2000)08-0025-03

1 引言

空调负荷,作为对电压稳定影响较大的一种负荷,目前已经引起国外专家和学者的广泛关注。文献^{[1][2]}的作者注意到在空调使用的高峰期,系统多重事故发生后电压难以恢复,他们认为这种情况主要是由于空调堵转现象所致。在对空调压缩机特性及保护装置研究的基础上,文献的作者建立了空调负荷的模型,并将其用于事故的模拟中。在这两篇文章中,其作者主要对空调在低压(电压均为0.6pu以下)时的表现,尤其是对堵转现象研究比较细致,文献^[3]对不同型号空调在正常电压附近(0.9~1.1pu)的电压静特性、频率静特性和高电压和低电压启动进行了实验研究,还分析了空调对系统事故引起的电压跌落的动态响应。这三篇文献都注意研究系统发生事故后,空调负荷的推波助澜作用,这是必要的,但还不够。在电力系统中,有的电压稳定事故仅由于系统负荷高位攀升造成,并无其它系统事故伴随或先导,如1987年东京的电压崩溃。要研究这种事故发生的原委,就必须研究电压较大范围变化的静特性,特别是空调负荷的静特性。上述三篇文献中对空调负荷静特性研究的范围较窄,对电压从0.9~0.6pu这一段没有研究。

2 电压变化较大范围时空调负荷电压、频率静特性实验

2.1 试验的电路图

对电路图作以下说明:图中的 S1、S2 为

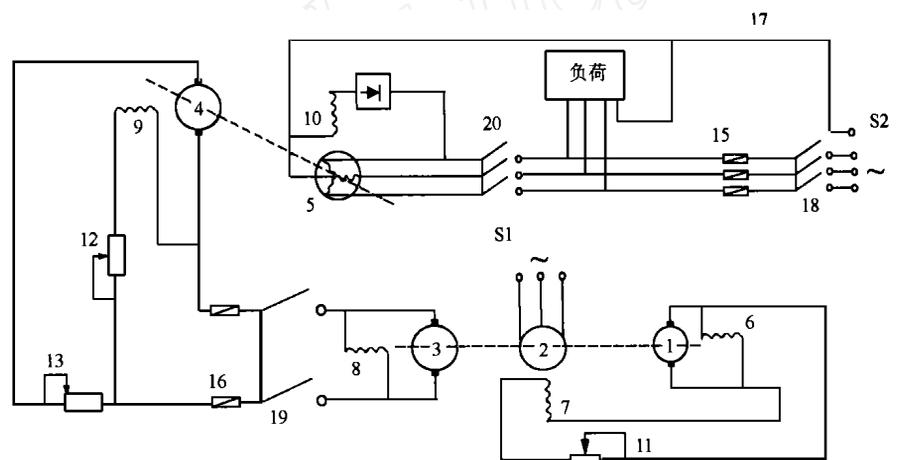


图1 实验电路图

380/220V、50Hz的三相电源。1、2、3是同轴的三个电机,1是直流励磁机,2是三相同步交流电动机,3是直流发电机,1为2提供励磁电流,3为4的直流电源。4和5同轴,4为直流电动机,5为三相同步发电机,作为试验中负荷的变频电源。13表示启动电阻,12是一个滑线变阻器,利用它调整4的转速,从而改变5的频率。试验图中的负荷既可以是单相负荷,也可以是三相负荷。

试验中,同步发电机容量的选择是个值得考虑的问题,如果按电源负荷基本匹配的原则选择,将难以解决空调装置启动电流大的问题,如针对启动问题来选择发电机的容量,结果将导致所用同步发电机容量过大,因此本文提出负荷转移方法来解决电源负荷匹配与启动电流的矛盾。其实实施步骤如下:先合上开关18,用380/220V三相电源S2带空调负荷,然后通过电源S1启动同步交流电动机2,当直流发电机3发电后,合上开关19,启动直流电动机4,当三相同步发电机5发电后,再调整滑线变阻器12调速,以使频率向三相电源S2的频率靠近,然后校核相序,借助同步指

示器与 S2 并网,使同步交流发电机和 S2 并列运行,共同带空调负荷,然后再断开控制开关 18,使同步三相交流发电机单独带空调负荷,这时就可以变频、变压,做空调负荷电压较大范围变动条件下的静特性试验了。

2.2 试验的结果分析

下面是根据试验结果作出的负荷特性曲线:

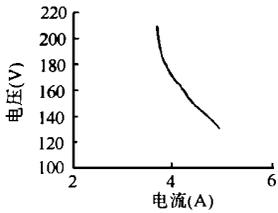


图 2 空调的 VI 曲线

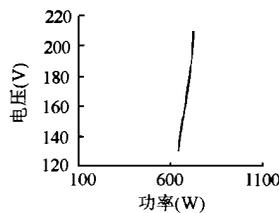


图 3 空调的 PV 曲线

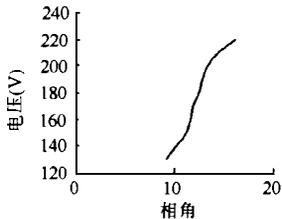


图 4 空调的电压相角曲线

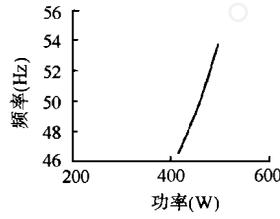


图 5 空调的频率曲线

从图 3 所示的空调 PV 曲线上,可以看到随电压的下降,空调负荷的有功功率减小的幅值不大,可以近似认为其是恒功率型的负荷。从图 4 空调负荷的电压相角曲线上,可以看到在电压 1.0 ~ 0.7pu 之间,空调负荷的电压和电流的相角基本上随电压的降低而减小,即功率因数随电压下降而增大,吸收的无功功率不断减小,难怪相当一些研究工作者没有认为空调负荷在上述电压范围的静特性有多大危险性,文^[1,2,3]缺少电压在 0.9 ~ 0.6pu 之间的静特性数据。实际上,不能仅从空调负荷的无功功率随电压的变化这一侧面来判断其对电压稳定的影响。比如,在电压下降时,虽然电动机负荷的功率因数有所改善,吸收无功功率减小,但此时电业部门和用户的电容器提供的无功也在减小,而且减小的速度很快(以电压平方的速度减小)。对于空调负荷,更值得注意的是,其阻抗模值的变化对电压稳定的影响。

3 空调阻抗模值的变化对电压稳定的影响

当气温升高时,人们将增开空调,这就会使负荷的阻抗模值降低;对于已开的空调,在其温控器的作用下,空调运转和停歇时间的比例也要随温度变化:停歇的时间减小,运转的时间增加,对任一个时间断

面,运转着的空调装置数量就会增多,这也会导致负荷阻抗模值减小。负荷阻抗模值减小将会使电压降低,空调是近似恒功率型的负荷,当电压降低时,为保持功率基本不变,它的电流要增大(这可从空调负荷的 VI 曲线上看到),这意味着阻抗模值要以比电压更快的速度下降,空调阻抗模的快速减小,又会使电压进一步下降;电压的下降,会使空调的阻抗模值快速减小, ... 所以说,空调负荷阻抗模值的变化对电压稳定的影响值得注意。以下在 z-V 空间中对此进行理论解析。

根据图 6,可以进一步分析空调阻抗模值变化对电压稳定的影响。图 6 中的曲线 f 是 z-V 空间电网对负荷阻抗供电的特性曲线,它与 P-V 空间的 PV 曲线一一对应,其解析表达式如下:

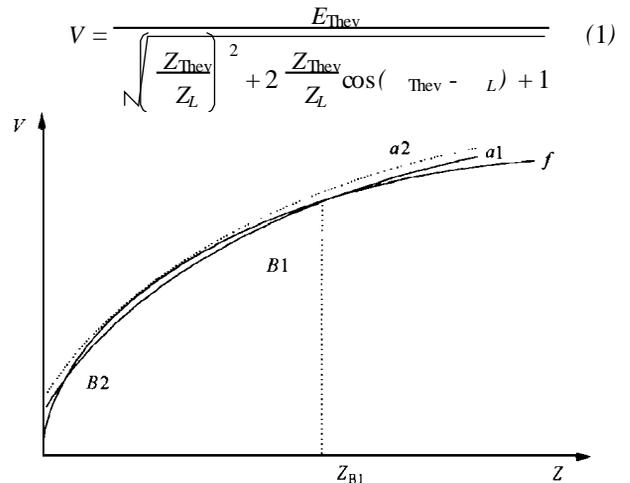


图 6

式(1)中 E_{Thev} 是戴维南等值电势, Z_{Thev} 是戴维南等值阻抗模值, θ_{Thev} 是戴维南阻抗角, L 是负荷阻抗角,它的斜率的解析式是:

$$\frac{dV}{dz_L} = \frac{E_{Thev} \left[1 + \frac{z_L}{z_{Thev}} \cos(\theta_{Thev} - L) \right]}{z_{Thev} \left[1 + \left(\frac{z_L}{z_{Thev}} \right)^2 + 2 \left(\frac{z_L}{z_{Thev}} \right) \cos(\theta_{Thev} - L) \right]^{3/2}} \quad (2)$$

a1 是空调负荷的 zV 曲线,如果将空调近似看成恒功率型负荷,可以用下面的解析式表示其在 z-V 空间的负荷特性曲线:

$$z_L = aV^2 \quad (3)$$

它的斜率解析式:

$$\frac{dV}{dz_L} = \frac{1}{2 \sqrt{a z_L}} \quad (4)$$

图 6 中, a1 曲线反映了负荷本身的 V - z 特性。

正常情况下, a_1 曲线与 f 曲线有两个交点 B_1 和 B_2 。在交点 B_1 , 曲线 a_1 的斜率大于曲线 f 的斜率, 这是个电压稳定运行点, 这可以从图 7 看出来, 假设有一个扰动比如临时增投了少量空调设备, 致使负荷阻抗模值减小, 空调的曲线 a_1 摄动到 a'_1 , 由于电网中电容器的影响, 电压不能突变, 曲线 a_1 上的 B_1 点刚开

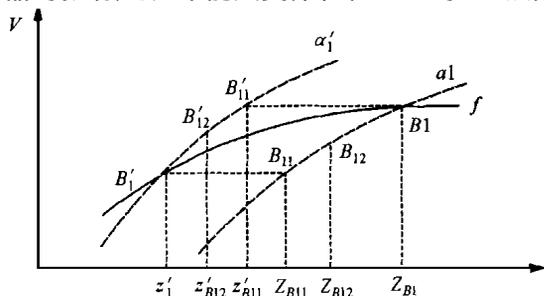


图 7

始时只能过渡到曲线 a_1 上的 B_{11} 点, 由图 7 可以明显地看出, 在 B_{11} 点, 电网对阻抗的供电电压小于负荷的需求, 因此电压要下降, 负荷的阻抗模随之减小, B_{11} 点要沿着曲线 a_1 下降, 到了 B_{12} 点时, 电网对阻抗的供电电压还是小于负荷的需求, 因此它还是要继续下降 ..., 直到 B_1 点, 这时电网对阻抗的供电电压等于空调负荷的需求, 电压不再往下降, 停留在新平衡点 B_1 ; 如果临时增投的空调切除, 负荷的阻抗模值恢复原值, 空调的特性曲线由 a_1 变回 a_1 , 由于电压不能突变, 曲线 a_1 上的 B_1 点刚开始只能过渡到曲线 a_1 上的 B_{11} 点, 在 B_{11} 点, 由于电网对阻抗的供电电压要大于负荷的需求, 因此电压要上升, 负荷的阻抗模值也随之增大, B_{11} 点要沿着曲线 a_1 上升, 到了 B_{12} 点时, 电网对阻抗的供电电压还是小于负荷的需求, 因此它还是要继续往上升 ..., 直到 B_1 点, 这时电网对阻抗的供电电压等于空调负荷的需求, 电压不再往上升, 停留在原平衡点 B_1 。在图 6 中的交点 B_2 , 曲线 a_1 的斜率小于曲线 f 的斜率, 这是个不稳定的平衡点, 发生扰动后, 在交点 B_2 附近不能建立新的平衡点, 扰动过后, 不能返回原平衡点。限于篇幅, 不再详细叙述了。

在图 6 中的 B_1 点, 空调负荷特性曲线 a_1 的斜率仅比电网对负荷阻抗供电的特性曲线 f 的斜率略大, 如果临时增投少量空调设备, 致使负荷阻抗模值减小, 导致 a_1 摄动到 a_2 , 平衡点 B_1 将往下移, 可能使曲线 a_2 和曲线 f 非常接近, 二者的斜率也非常接近, 在 B_1 点以下好象有许多交点, 如果负荷阻抗模

值的减小量比图示许多交点的情况略大一点, B_1 点和 B_2 点将重合, 这个重合点也是不稳定点, 如果负荷阻抗模值再减小个微量, 电压就会垮下去。

通过以上的分析, 可以看到电压在 $1.0 \sim 0.6$ pu 之间, 空调负荷阻抗模值的变化对电压稳定的负面影响是很大的, 仅从空调的无功功率这一侧面出发, 将难以得到全面的判断。

4 从防灾减灾的角度来看空调负荷

从空调负荷本身的特性来看, 它对电压稳定的负面影响较大, 在空调负荷密集地区, 电网容易发生电压崩溃事故。电压崩溃是一种电网灾害, 空调负荷密集地区的高压节点, 一般是高层电压等级的变电所, 其下有数十万甚至上百万人口的用电负荷, 一旦发生电压崩溃, 将造成严重的社会经济损失。宜从防灾减灾的角度来看有关问题。

空调负荷既可在系统发生事故时, 对电压失稳起到推波助澜的作用, 也能直接作为电压失稳事故发生的“元凶”。在空调负荷增长时, 其群体效应不宜忽视。在气温升高时, 人们会增投空调; 气温的升高还会使室内外的温差加大, 空调内的温控器将使其运转时间加长, 停歇时间缩短, 对任一个时间断面而言, 运转着的空调装置数量将会增多, 这类群体效应将会显著减小负荷的阻抗模值, 严重时可能引起灾害性电压崩溃事故。

空调负荷的物主是广大用户, 它的群体效应有人群活动的背景, 具有社会性。因此对于电压崩溃, 宜建立防灾减灾的社会机制, 不应仅仅单纯靠电力部门, 需要社会各方面形成合力, 不能缺少人民群众的参与, 特别拥有空调类设备的广大用户, 能够在电压危机警报发出以后, 发挥关键作用。

制订产品标准的有关部门, 也能对电压崩溃的防灾减灾发挥较大的作用。比如制订空调产品标准时, 要求设置低压继电器, 使其在电压降到一定程度后, 切除空调, 这就形成显著增大负荷阻抗模值的群体效应, 有利于保持系统的电压稳定。目前, 许多空调厂家并不想在空调内设置低压继电器, 而是力求使空调在很低的电压 (如 140V 甚至更低) 下还能运行, 其出发点是方便用户和“适应国情”。这是不奇怪的, 因为他们不了解在低压区, 空调的继续运转可能造成的危害, 也没有相应的产品标准对空调生产进行约束。如果扭转这种情况, 将会对电压崩溃的防灾减灾发挥较大的作用。

(下转第 31 页)

- 第三届学术年会论文集,广州:华南理工大学,1997.
- [2] 卢爱菊,涂光瑜,孙扬声. 管理信息系统数据库的设计与开发. 全国高等学校电力系统及其自动化专业第十届学术年会论文集,上海:上海交通大学,1994.
- [3] 董张卓,张启宏. 基于面向对象技术的实时电网拓扑表示. 全国高等学校电力系统及其自动化专业第十届学术年会论文集,上海:上海交通大学,1994年.
- [4] Bolling S J et al. Design Guidelines for Object Oriented Soft

ware with an EMS Man - Machine Interface Application. Electrical Power & Energy Systems, 1992, 14(2/3).

收稿日期: 2000-01-14

作者简介: 陈超英(1957-),男,博士,博导,教授,从事电力系统分析、数字仿真研究; 刘秀玲(1977-),女,硕士,主要从事电力系统继电保护的研究。

A method to improve the intelligentize of the graph analysis

CHEN Chao-ying, LIU Xiu-ling
(Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: This paper is aimed at the status that the conventional electrical topology graph was analyzed and input to computer artificially and brings forward a method using extended adjoining table to store the graphs. Thereby the system can automatically analyze the topology graph and the power flow. The system reduces the load of the users, and improves the intelligentize of the graph analysis.

Keywords: drawing software; topology graph

(上接第 27 页)

在电压紧急态势下,借助需求侧管理(DSM)^[4],使空调负荷进行自动减载,不仅对防减一个城市电网的电压崩溃灾变有效用,而且能为防减电力系统更大范围的不同灾变打下一定的基础。

5 结论

- 5.1 采用负荷转移法能够较好地解决空调装置试验中,电源负荷匹配与空调启动电流大的矛盾。
- 5.2 在 $z-V$ 空间运用摄动原理进行理论解析,可以看到空调负荷的增长对电压稳定负面影响的具体情节。
- 5.3 空调“群体效应”明显有人群活动背景,应从防灾减灾的角度看待空调的有关问题。

参考文献:

- [1] Williams B R, Schmus W R, Dawson D C. Transmission Volt

age Recovery Delayed by Stalled Air Conditioner Compressors. IEEE Trans. on PWRs, 1992, 7(3):1173~1179.

- [2] Shaffer J W. Air Conditioner Response to Transmission Faults. IEEE Trans. on PWRs. 1997, 7(3):614~618.
- [3] Tomiyama K, Daniel J P, Ihara S. Modeling Air Conditioner Load for Power System Studies. IEEE Trans. on PWRs. 1998, 13(2):414~421.
- [4] 柳焯. 电压稳定问题中重负荷节点的阻抗模解析(一)(二). 全国高等学校电力系统及其自动化专业第十四届学术年会论文集,1998,10:837~850.
- [5] 曹世光,柳焯,杨以涵. 紧急电压态势下的需求侧管理. 中国电力,1998,31(5).

收稿日期: 1999-10-25

作者简介: 韩北渝(1967-),男,硕士,从事电力系统分析与控制的研究工作; 王漪(1962-),男,高工,博士,主要从事电力系统稳定与控制研究; 李晓明(1954-),男,工程师,从事电力系统控制研究。

Study on the effect of air conditioner load on voltage stability

HAN Bei-yu, WANG Yi, LI Xiao-ming, LIU Zhuo
(Harbin University of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: A method of load shift is proposed in experiment of air conditioner. Using this method, contradiction of source load matching and large starting current of air conditioner can be easily solved. Through experiment, the characteristics of air conditioner load are researched. On perturbation principle, the relations between variation of impedance module and voltage stability are researched in zV space. Lastly, some problems of air conditioner are discussed from viewpoint of precautions against calamities.

Keywords: air conditioner load; voltage stability; perturbation principle; zV space