

## 厂用电电源切换时的相位差问题探讨

刘增远<sup>1</sup>, 康小宁<sup>1</sup>, 郭峰<sup>2</sup>

(1. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049; 2. 陕西宝鸡供电局凤县供电分局, 陕西 凤县 721004)

**摘要:** 探讨了在两个不同电压等级的电网引接工作电源和备用电源的问题。采取 Matlab 仿真系统和厂用快切原理, 建立仿真模型, 在工作电源与备用电源之间的相位差(俗称功角)较大的情况下, 试验厂用电源之间的切换。经分析, 由于快速切换和同期捕捉切换的有机结合, 在厂用电源引接中, 快速切换装置均能圆满完成厂用电源之间的切换, 相位差不再是一个决定性的因素。

**关键词:** 厂用电源切换; 相位差; 快速切换装置; 快速切换; 同期捕捉切换

## Discussion on phase difference when plant source switching

LIU Zeng-yuan<sup>1</sup>, KANG Xiao-ning<sup>1</sup>, GUO Feng<sup>2</sup>(1. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;  
2. Baoji Power Supply Bureau, Fengxian 721004, China)

**Abstract:** This paper discusses operating source and reserve source used by two different voltage-grade networks. It employs MATLAB simulation system and plant source fast switch theory to establish simulation model and switch plant sources when there is a large phase difference between operating source and reserve source. With the combination of fast switch and synchronous capture switch, fast switch device can implement the plant source switch in power source connecting. Phase difference is not a decisive factor.

**Key words:** plant source switch; phase difference; fast switch device; fast switch synchronous capture switch

中图分类号: TM762 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)11-0060-05

## 0 引言

在火力发电厂中, 厂用电的安全可靠直接关系到发电机组、电厂乃至整个电力系统的安全运行。因此, 发电厂的负荷均设有两路彼此独立的主备电源供电, 正常运行时机组厂用电由单元机组供电, 停机状态由备用电源供电。高压厂用工作电源(变压器或电抗器)应由发电机电压回路引接, 当有发电机电压母线时, 高压厂用工作电源由各母线段引接; 当发电机与主变压器为单元连接时, 由主变压器低压侧引接<sup>[1]</sup>。

备用电源的引接为了保证其独立性, 要避免与厂用工作源由同一电源处引接, 并应保证在从一个电源点失电的情况下, 能从另一个电源点取得足够的电源。发电机与主变压器成单元连接时, 厂内有两级(或三级)升高电压母线, 备用电源应由与系统有联系的最低电压级母线引出, 也可由联络变压器的低压绕组引接。当电厂仅有1级升高电压母线, 且高压母线电压在220 kV及以下电压等级时, 备用电源可直接从高压母线引接。当电厂仅有一级330 kV或500 kV升高电压母线, 附近没有较低电

压等级的电网时, 在技术、经济条件比较合理时, 可由该级电压母线引接备用电源; 如果附近有较低电压等级的电网, 且在全厂停电时能由该电网取得足够的电源时, 也可由此电网引接一专用线路作为全厂事故备用电源<sup>[1]</sup>。

机组在启动和停机过程都必须带负荷进行厂用电切换。另外, 当机组或厂用工作电源发生故障时, 为了保证厂用电不中断及机组安全有序地停机, 不扩大事故, 必须尽快把厂用电电源从工作电源切换到备用电源。

厂用电切换过程是一个复杂的机电动态过程, 特别在事故切换过程中, 电流、电压、频率(滑差)、相角、转矩等将发生快速变化, 如果切换不当, 将造成切换失败或设备损坏。从厂用工作、备用电源引接原则来看, 当备用电源从厂内与发电机或主变压器连接母线引接时, 工作电源与备用电源之间的相位差比较小; 当备用电源从厂内其它母线引接时, 相位差比较大; 当备用电源从厂外低电压级的电网引接时, 工作电源与备用电源之间的相位差非常大, 有的甚至达到100°以上。而且对于同一个电厂, 由于电厂或电网运行方式的不同, 工作电源与备用

电源之间的相位差的大小也在变化。相位差较大时, 一般认为不利于厂用电源之间的切换。特别是在 330 kV 或 500 kV 送出的大型电厂, 为了解决工作电源和备用电源之间的相位差大小问题, 较多电厂不采用既经济又可靠的从电厂外低电压等级电网引接起动备用电源的方案, 而是从 330 kV 或 500 kV 一级降压来引接厂用起动备用电源。

切换时, 两电源相位差的不同, 使电动机回路中的电压、电流也会不同; 对于辅机, 我们主要考虑的是: 1) 在厂用切换过程中要保证电动机所承受的电压低于  $1.1U_n$  [2]; 2) 电流对保护的影响。

国内大型火电厂的厂用切换普遍采用厂用电源快速切换装置, 这些装置均采用快速切换、同期捕捉切换、残压切换和延时切换等方式。

由于残压切换和延时切换方式需要的切换时间长, 很难满足大型火电厂厂用电源切换的需要, 因此本文仅以基于 Matlab 仿真系统和单台交流电动机的电源切换为基础, 分别建立快速切换和同期捕捉切换的仿真系统, 研究相位差大小与各种切换方式、负荷特性之间的关系, 从而说明由于快速切换装置的使用, 在相位差较大时, 也能很好地完成厂用电源之间的切换。

## 1 单台电动机电源切换的仿真

### 1.1 厂用电源接线及元件参数

以交流异步电动机为例, 系统结构如图 1 [3]。图

中 M 为等效电机, 表示该母线段感应电机容量的总和。工作电源和后备电源种类相同, 均为三相交流电源, 且均认为工作电源和后备电源为无穷大系统。

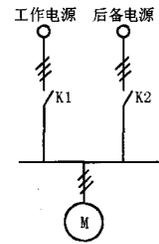


图 1 厂用电系统接线简图

Fig.1 Connection of plant source

电动机为三相异步电动机, 额定电压为 10 kV, 额定功率为 2240 kW, 定子电阻 (标么值) 为 0.008 464 7, 定子电感 (标么值) 为 0.092 58, 转子电阻 (标么值) 为 0.004 923, 转子电感 (标么值) 为 0.087 65, 激磁电感 (标么值) 为 4.2, 转动惯量 (标么值) 为 0.56, 电动机极对数为 2。

根据《火力发电厂厂用电技术规定》, 一般风机和水泵的阻力矩特性曲线系由两段组成。后一段 ( $S \geq 0.7$  以后) 为一上升的抛物线 [1], 方程式为

$$M_{(s)} * = K (1-S)^2 \quad (1)$$

由于研究的是电源切换过程的机电暂态过程, 且该机电暂态过程中  $S \geq 0.7$ , 因此, 仿真的机械负荷使用公式 (1) 来描述, 其中  $K \geq 0.8$ 。

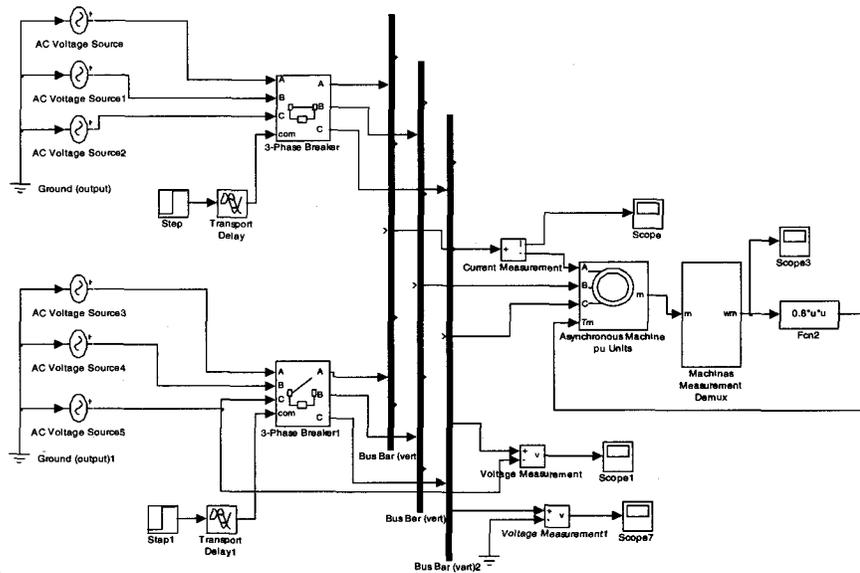


图 2 快速切换 Matlab 仿真图

Fig.2 Matlab simulation of fast switch

根据国产 ZN65A 断路器的跳合闸时间, 仿真系

统中断路器模块的分闸时间采用 45 ms, 合闸时间

采用 65 ms, 断路器本身电阻值为  $0.001 \Omega$ , 断路器不并联电阻或电容。

### 1.2 快速切换的仿真及结果

快速切换是指在切换时, 切除一个电源和投入另一个电源的脉冲信号同时发出。由于断路器跳、合闸时间不同, 以及本身动作时间的分散性, 在切换期间, 一般有几个周波的断电时间, 但是也有可能出现 1~2 个周波的两个电源并联。根据这种情况实现的切换仿真结果见图 2。其中, 快速切换时间从仿真的 10 s 开始切换, 因此以下仿真图均为 9.9 s~10.6 s 之间的仿真图。

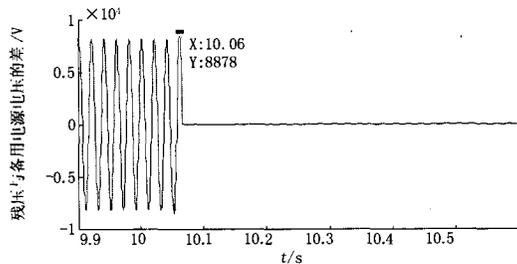


图 3 备用电源超前工作电源  $50^\circ$  时, 残压与备用电源电压差仿真图

Fig.3 Simulation of residual voltage and standby source voltage difference when standby source starts 50 before operating source

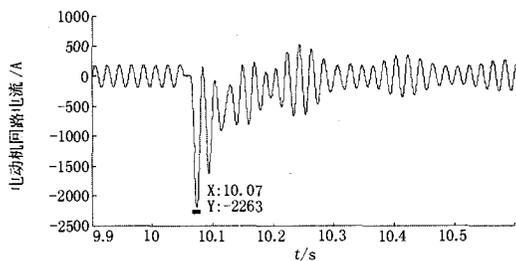


图 4 备用电源超前工作电源  $50^\circ$  时, 电动机回路电流仿真图  
Fig.4 Current simulation of motor circuit when standby source starts 50 before operating source

从图 3 仿真母线残压与备用电源电压差的仿真图中可以看出, 在备用电源相角超前工作电源相角  $50^\circ$  范围内进行快速切换时, 电动机所承受的电压均不超过  $1.1U_n$ ; 从图 4 的仿真图中可知, 电动机回路的瞬时电流值可达到 2 262 A, 这个电流值与电动机从零状态启动时的瞬时电流值相当。从有关文献可知: 快速切换电源引起的冲击电流值是正常启动电流值的 2.5 倍以上, 是实际额定电流的近 20 倍<sup>[4]</sup>。因此, 该电流值可能引起厂用分支回路的过流保护动作<sup>[5]</sup>。这种现象在我国许多电厂中已经多次发生。

为了解决电源切换后, 保护误动的问题, 其方

法有两个: 1) 减小切换时工作电源与备用电源的相位差, 以减少电动机回路的电流值; 2 修改厂用分支过流保护的整定值 (包括电流值或整定时间)。

本文建议通过减少相位差来满足保护的要求。从图 5、图 6 可以看出, 当备用电源相角在超前工作电源相角  $25^\circ$  和滞后工作电源相角  $50^\circ$  之间进行快速切换时, 电动机回路的瞬时电流值降到 1 339 A 或 1 205 A, 这时已经满足厂用分支回路的过流保护的整定值, 不会引起保护误动。

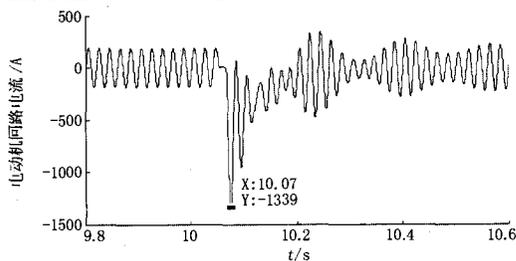


图 5 备用电源超前工作电源  $25^\circ$  时, 电动机回路电流仿真图

Fig.5 Current simulation of motor circuit when standby source starts 25 before operating source

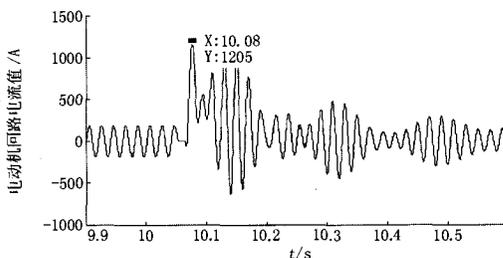


图 6 备用电源滞后工作电源  $50^\circ$  时, 电动机回路电流仿真图

Fig.6 Current simulation of motor circuit when standby source starts 50 after operating source

### 1.3 同期捕捉切换的仿真及结果

同期捕捉切换是快速切换不成功时可靠的后备<sup>[6]</sup>, 同期捕捉切换又叫“首次同期点切换”。首次同期点切换是当母线残压和备用电源电压相对旋转接近同期点时, 这时角差为  $0^\circ$ , 差压也较小, 若在这一时刻合上备用电源, 电气设备受到的冲击也较小, 这种切换称为首次同期点切换。

为了实现同期捕捉切换, 一般有两种基本方法。一种基于“恒定越前相角”原理, 另一种基于“恒定越前时间”原理。其中, 恒定越前相角为母线残压超前备用电源电压  $145^\circ$ 。

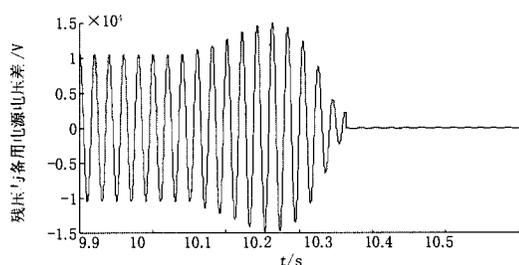


图7 同期捕捉切换时, 残压与备用电源电压差仿真图

Fig.7 Simulation of residual voltage standby source voltage difference when synchronous capture switch

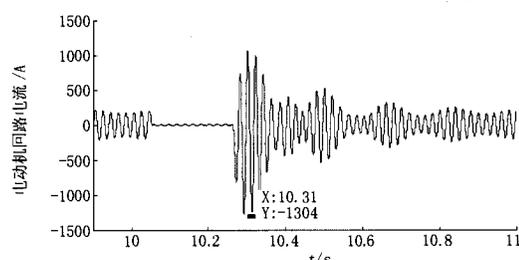


图8 同期捕捉切换时, 电动机回路电流仿真图

Fig.8 Current simulation of motor switch when synchronous capture switch

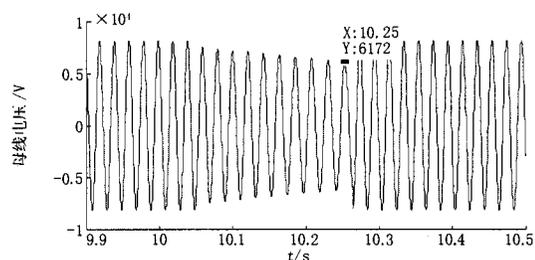


图9 同期捕捉切换时, 母线电压仿真图

Fig.9 Bus voltage simulation when synchronous capture switch

从图7可以看出, 针对本次建模的设备参数, 采用  $145^\circ$  的恒定越前相角, 断路器完成切换时的电压值基本接近  $0\text{ V}$  电压; 从图8中看出电动机回路电流值只有  $1\ 304\text{ A}$ , 远小于快速切换时的电动机回路电流值; 从图9中可以看出, 切换完成瞬间, 母线电压值为  $6\ 172\text{ V}$ , 比额定值减小了  $24.4\%$ 。

以上数据说明, 只要同期捕捉的参数设置合理, 采用“恒定越前时间”或“恒定越前相角”方法准确性很好, 不管工作电源与备用电源的相位差多大, 也能在母线电压衰减很小的情况下完成厂用电源的切换。

## 2 仿真结果的分析

电动机电源切换后回路的等值电路见图10<sup>[2]</sup>,

从快速切换的仿真结果可以看出, 备用电源相角超前工作电源时的相角差小于滞后时的相角差时, 才能满足从工作电源切换到备用电源不失败。这时因为: 从仿真图10中可以看到, 切换中有段时间电机处于无源状态, 这时的残压角度与失电时的工作电源角度基本一致。如果备用电源的相角超前工作电源, 在合备用电源时, 备用电源与残压的角度差就变大; 否则, 两者间的角度差就变小或接近相同。

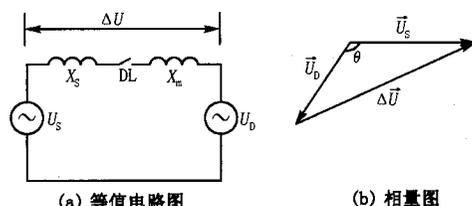


图10 电动机切换等值电路

Fig.10 Equivalent circuit of motor switch

其中:  $U_s$  为电源电压;  $U_D$  为母线上的电动机残压;  $X_s$  为电源等值电抗;  $X_m$  为母线上电动机组和低压负载的等值电抗(折算到高压厂用电电压);  $\Delta U$  为电源电压和残压间的差拍电压。

断路器跳合闸时间的长短, 影响母线电压的衰减时间; 母线负荷的机械特性影响母线电压的衰减的速度, 这两个因素决定了切换时两电源之间的相位差大小。

从快速切换的仿真结果还可以看出, 即使保证电动机所承受的电压低于  $1.1U_n$ , 仍然存在电流不能满足保护电流定值的情况; 只有在相位差减小, 电动机回路的残余电流与备用电源在电动机回路形成的电流叠加后, 才能满足要求。

因此, 制约快速切换时备用电源与工作电源之间相位差大小的因素有:

- 1) 电动机所承受的电压和电流。
- 2) 断路器的合、跳闸时间。
- 3) 负荷的机械特性。

由于快速切换对于备用电源与工作电源的相位差是有一定范围要求的, 当超过这个范围时, 快速切换方式将不能使用; 同时, 快速切换对于断路器的性能要求比较高, 因此, 快速切换方式也存在一定的局限性。而且, 同期捕捉方式的切换时间比较长, 这是它的不足之处, 但它对于断路器的性能和相位差大小要求不高, 理论上, 同期捕捉切换同样能满足所有相位差的要求。

## 3 结论

本文采用 Matlab 仿真系统,建立单台电动机在快速切换和同期捕捉切换的仿真模型。对仿真结果进行分析后认为,当把快速切换和同期捕捉切换两种切换模式有机结合后,不论工作电源与备用电源之间有多大的相位差,均能很好地完成正常或事故切换。因此,在厂内仅有一级 330 kV 或 500 kV 升高电压母线、电厂发变组接入的电压系统与起动用电源引接的电压系统不同时等相位差较大的情况下,完全不必考虑由于工作电源与备用电源之间的相位差问题,而影响起动用电源的引接方案。

### 参考文献

- [1] 火力发电厂厂用电设计技术规定 [M].北京:中国电力出版社, 2002.  
Plant Source Design Techniques of Thermal Power Plant[M].Beijing:China Electric Power Press,2002.
- [2] 西北电力设计院. 电气工程电气设计手册 1, 2 [M].北京:水利电力出版社, 1990.  
North West China Electric Power Institute.Manual of Electrical Engineering[M].Beijing:Hydraulic and Electric Power Press,1990.
- [3] Shaltout A, Al-omoush M R. Eclosing Torques of Large Induction Motors with Stator Trapped Flux [J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 1996, 11(1): 1348-1354.
- [4] 汪雄海.电机电源切换冲击扰动机理分析及防护[J].浙江大学学报(工学版), 2002,36(1):97-100.  
WANG Xiong-hai. Study on Transient Response Due to Fast Reclosing of the Electrical Sources of the Motor[J].Journal of Zhejiang University(Engineering Science),2002,36(1):97-100.
- [5] 梁世康、许光一.厂用电系统保护[M].北京:水利电力出版社, 1987.  
LIANG Shi-kang,XU Guang-yi.Plant Sources System Protection[M].Beijing:Hydraulic and Electric Power Press,1987.
- [6] 郭伟、胡敏菱.厂用电切换方法的研究及运用.电力系统自动化,1999.  
Guo Wei,Hu Min-you, YE Liu-jin,et al.Study and Application of Power Supply Transfer Between Power Plant Moor Buses[J].Automation of Electric Power Systems,1999,23(15).
- 
- 收稿日期: 2007-02-05; 修回日期: 2007-04-26  
作者简介:  
刘增远(1967-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为电力系统自动化和继电保护技术; E-mail: zengyuanliu@163.com  
康小宁(1968-), 男, 副教授, 研究方向为电力系统自动化和继电保护技术。
- 
- (上接第 51 页 continued from page 51)
- SU Yi-rong, HONG Cheng. Improved AVQC Method of the Nine-zone Graph Theory Based on Identification of the Adjusting Unit[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(2): 77-80.
- [11] 姜学宝, 江卫中. 苏州地区电网电压无功优化系统的应用实践[J].继电器,2006, 24 (7) :38-42.  
JIANG Xue-bao, JIANG Wei-zhong. Application and Practice of Optimization System for Voltage and Reactive Power in Suzhou District Power Network[J].Relay, 2006, 24 (7) :38-42.
- 
- 收稿日期: 2006-07-26; 修回日期: 2007-03-26  
作者简介:  
杨运国(1977-), 男, 硕士, 从事电力系统调度运行及电网安全经济运行研究; E-mail:cquyyg@163.com  
郝力军(1965-), 男, 高级技师, 长期从事电力系统安全生产和科技管理工作;  
朱向明(1966-), 男, 高级技师, 长期从事电力系统安全生产和科技管理工作。
- 
- (上接第 59 页 continued from page 59)
- [3] 卢艳军.单片机基本原理及应用系统[M].北京:机械工业出版社, 2005.  
LU Yan-jun. Basic Principle and Application of MCU[M].Beijing:China Machine Press,2005.
- [4] 施琴红.可编程数码管/键盘串行接口芯片 HD7279A 的原理与应用[J].国外电子元器件, 2004, (6):40-43.  
SHI Qin-hong. Principle and Application of Programmable LED/keyboard Series Interface HD7279A[M]. International Electronic Elements, 2004,(6):40-43.
- 
- 收稿日期: 2006-09-25; 修回日期: 2007-01-25  
作者简介:  
宫豫燕(1981-), 女, 硕士研究生, 主要从事继电器可靠性检测与分析的研究; E-mail:yuyan\_gong@sina.com  
李志刚(1958-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电器可靠性与检测技术和电接触理论及其应用的研究。