

关于厂用电源快切装置切换判据的探讨

张培杰¹, 孙国凯¹, 车长海², 张宝志²

(1. 沈阳农业大学 信息与电气工程学院, 辽宁 沈阳 110161;

2. 哈尔滨第三发电有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150024)

摘要: 在分析母线残压与备用电源电压之间相位差变化的基础上, 介绍了适用于厂用电源切换的理论判据, 采用对相位差实时测量和预判的方法确定最佳合闸时刻。求出快速切换时最大允许相位差为 63° ; 考虑断路器合闸时间, 针对正常、事故、低压、误跳串联切换方式以及正常同时、事故同时、低压同时切换方式 2 种情况, 分别提出了相应的快速切换理论判据。同期捕捉切换以相位差为 0° 时作为合闸目标, 考虑断路器合闸时间, 得出其理论判据。慢速切换判据只需母线残压低于设定的最大允许残压。理论分析和现场运行证明了其可行性和有效性。

关键词: 厂用电源; 快速切换; 同期捕捉切换; 切换判据

中图分类号: TM 62

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)06-0091-03

0 引言

火电厂厂用电系统的安全稳定运行关系到发电机组乃至整个电厂的安全可靠运行, 而 6 kV 厂用电源快切装置是厂用电安全可靠运行的重要设备^[1]。6 kV 厂用电源切换相对于一般意义上的电源切换有很大区别^[2~4]: 当工作电源由于某种原因跳闸, 母线上失去电源, 对于厂用母线上的电动机由于其惯性及存储的磁场能量, 在一定时间内还会继续保持旋转, 并将磁场能量转换成电能。因各个电动机的参数、特性不一样, 此时就会有部分电动机转入异步发电机运行状态, 造成母线上继续保持有电压, 称之为“母线残压”。由于这些异步发电机不存在原动力和励磁, 残压的幅值和频率将会不断衰减, 其与备用电源电压的相角、幅值产生差值。随着残压的快速变化, 母线电压与备用电源电压的相角差逐渐拉开。这就要求必须在快速变化中找出恰当的时刻进行合闸, 以满足备用电源电压与母线残压的差拍电压最小和母线上重要电动机的自启动。

收稿日期: 2005-01-31; 修回日期: 2005-04-15

1 简述利用相位差的切换原理

假设有图 1 所示的厂用电系统, 工作电源由发电机端经厂用高压工作变压器引入, 备用电源由电厂高压母线经启备变引入。正常运行时, 厂用母线电源由工作电源提供, 当工作电源侧发生故障时, 断路器 QF_1 被跳开, 如引言所述母线上将会出现残压, 此时如合上备用电源断路器 QF_2 , 将不可避免地厂用母线上的电动机造成冲击, 严重威胁厂用旋转负载的安全运行。图 2 所示为合上备用电源时电动机的等值电路图和相量图, 图中 U_d 为母线残压, U_s 为备用电源电压, ΔU 为备供电源电压与母线残压间的差拍电压, X_m 为母线上电动机组和低压负荷折算到高压厂用电后的等值电抗, X_s 为电源的等值电抗。从图中可以看出, 不同的 θ 角(备用电源和母线残压二者之间的夹角), 对应不同的 ΔU 值, 如 $\theta=180^\circ$ 时, ΔU 值最大, 如果此时合上备用电源, 对电动机的冲击最为严重。为了更清楚地表示出残压相位的情况, 用极坐标形式画出残压相量变化轨迹图, 如图 3 所示。

如果合上备用电源开关, 电动机承受的电压 U_M 为

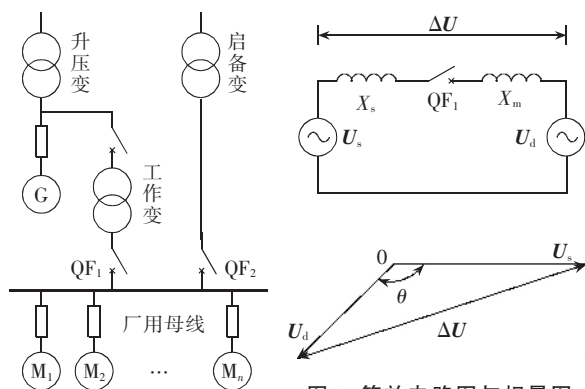


图 1 系统接线图

图 2 等效电路图与相量图

Fig.1 Schematic diagram of system and Fig.2 Equivalent circuit and vector diagram

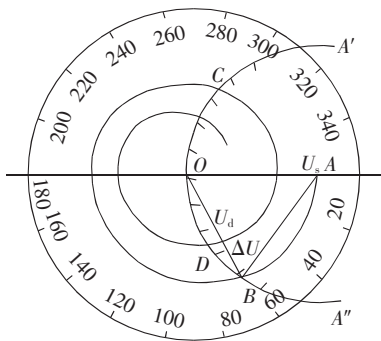


图 3 残压特性相量图

Fig.3 Specific phasor diagram of residual voltage

$$U_M = \frac{X_M}{X_S + X_M} \Delta U$$

令

$$K = \frac{X_M}{X_S + X_M} \quad (1)$$

则

$$U_M = K \Delta U$$

为保证切换安全,一般应使合闸时电动机承受的电压不大于 1.1 倍额定电压 U_N ^[5]。因此有

$$K \Delta U < 1.1 U_N$$

从而

$$\Delta U(\%) < \frac{1.1}{K} \quad (2)$$

对于式(2)中的 K 值,和机组实际运行时的负荷大小有关,为了严格保证厂用电源的切换安全,就取它的极限值 $K_{\max}=1$,以 A 为圆心,以 1.1 为半径绘出弧线 $A' \sim A''$,则 $A' \sim A''$ 的右侧为备用电源允许切换的安全区域,左侧则为不安全区域。

假定正常工作时工作电源与备用电源同相,其电压相量端点为 A ,则母线失电后残压相量端点将沿残压曲线由 A 向 B 方向移动,如能在 AB 段内合上备电源,则既能保证电动机安全,又不使电动机转速下降太多,这就是所谓的快速切换。过 B 点后 BC 段为不安全区域,不允许切换。在 C 点后至 CD 段实现的切换称为同期捕捉切换,如能实现同期捕捉切换对电动机的自启动也比较有利。当电压衰减到 $(20\% \sim 40\%)U_N$ 后,不考虑是否满足同期条件,只要残压低于最大允许残压,就发出合目标电源开

关命令而实现的切换称为慢速切换,这种切换和一般的备用电源自动投切已没有区别。

2 切换判据探讨

2.1 判据的数学理论基础

根据以上分析可知,要想在恰当的时刻合上备用电源,需要对相角差的变化进行分析,考虑连续相角差函数的泰勒展开式^[6]:

$$\varphi_{(t)} = \varphi_{(t_1)} + \varphi'_{(t_1)}(t-t_1) + \varphi''_{(t_1)}(t-t_1)^2/2 + L \quad (3)$$

由于三阶及以上高次导数值很小,式(3)可简化为式(4):

$$\varphi_{(t)} \approx \varphi_{(t_1)} + \varphi'_{(t_1)}(t-t_1) + \varphi''_{(t_1)}(t-t_1)^2/2 \quad (4)$$

令 $t = t_1 + T$ (不同切换阶段和不同切换方式下 T 的取值不同),则由式(4)可得:

$$\varphi_{(t_1+T)} \approx \varphi_{(t_1)} + \varphi'_{(t_1)}T + \varphi''_{(t_1)}T^2/2 \quad (5)$$

式中 $\varphi_{(t_1)}$ 为 $t=t_1$ 时的相角差值,对应的物理意义是 $t=t_1$ 时刻的相角差值; $\varphi'_{(t_1)}$ 为 $t=t_1$ 时刻的相角差的一阶导数,对应的物理意义是 $t=t_1$ 时刻的相角差速度; $\varphi''_{(t_1)}$ 为 $t=t_1$ 时刻的相角差的二阶导数,对应的物理意义是 $t=t_1$ 时刻的相角差加速度。

依据式(5)的理论基础,可以预测出何时发出目标电源合闸命令以使合闸时刻的相位差落在 AB 段,实现快速切换;落在 CD 段,实现同期捕捉切换。

2.2 快速切换判据

快速切换以在备用电源合闸时的备用电源电压与母线残压的相位差不超过最大允许相位差为目标,为此,首先求出最大允许相位差。

根据前述,从图 2 可知最大允许相位差就是 $\angle AOB$,为此,只需确定 $\angle AOB$ 的最小值:

$$\cos \angle AOB = (U_s^2 + U_d^2 - \Delta U^2) / (2U_s U_d) \quad (6)$$

式中 U_s 为备用电源电压,即额定电压 U_N ; U_d 为母线残压,在快速切换阶段其取值为 $[0.11]U_N$,记作 XU_N ; ΔU 为备用电源电压与母线残压间的差拍电压,其取值为 $1.1U_N$ 。

故可得:

$$\cos \angle AOB = (1^2 + X^2 - 1.1^2) / (2X) \quad (7)$$

故可求出 $\angle AOB$ 的最小值:

$$\angle AOB \approx 63^\circ$$

即在快速切换时,要求合闸瞬时刻母线残压与备用电源的最大允许相位差为 63° 。

考虑到断路器合闸时间,发出合闸脉冲应有一提前量,提前量的大小取决于合闸回路时间和相位差的变化速度。

第一种情况:对于正常、事故、低压、误跳串联切换方式,由于必须是工作电源跳开后才能合备用电源,故式(5)中 T 理论上至少应取备用电源断路器合闸时间 T_h ,故相应的快速切换理论判据为

$$|\varphi_{(t_1)} + \varphi'_{(t_1)}T_h + \varphi''_{(t_1)}T_h^2/2| < 63^\circ \quad (8)$$

当满足式(8)时,装置可发合目标开关指令,实现快速切换功能。

第二种情况:对于正常同时(正常并联考虑并网条件,与快速切换判据无关)、事故同时、低压同时切

换方式,由于在发出跳工作电源后即可发出合备用电源,故式(5)中 T 值理论上应取备用电源断路器合闸时间 T_h 与工作电源断路器跳闸时间 T_t 的差值: $T_h - T_t$ (假设 $T_h > T_t$),相应的快速切换理论判据为

$$|\varphi_{(t)} + \varphi'_{(t)}(T_h - T_t) + \varphi''_{(t)}(T_h - T_t)^2/2| < 63^\circ \quad (9)$$

当满足式(9)时装置可发合备用电源断路器指令,实现快速切换功能。

当然,采用这样的判据可能会因为耗时较长,从而失去部分快速切换的时机,为此,在实际运用时,可直接将实时计算出的备用电源电压与母线残压的相位差和设定值作比较,只要相位差小于设定值,即可发出合闸命令。

如果能实现快速切换,对厂用电的安全、可靠运行是非常有利的。

2.3 同期捕捉切换判据

当由于一些客观原因,比如:备用电源电压和母线电压本身就存在一个较大的初相角,或者开关设备自身条件所限等,使得快速切换不能满足条件时,同期捕捉切换可以作为快速切换的后备切换,这时装置自动转入同期判别,使得厂用电源切换能安全进行。

同期捕捉切换以相位差为 0° 时作为合闸目标,同样考虑到断路器合闸时间,发出合闸脉冲应有一定提前,提前量的大小取决于合闸回路时间和相位差的变化速度。

理论判据为

$$|360 - \varphi_{(t)} - \varphi'_{(t)}T_h - \varphi''_{(t)}T_h^2/2| < \varepsilon \quad (10)$$

式中 ε 为同期捕捉切换所允许的误差角度。

装置连续解不等式(10),当满足式(10)时可发合备用电源断路器指令,实现同期捕捉切换功能。

2.4 慢速切换判据

如前所述,慢速切换判据比较简单,只需设定最大允许残压定值,当母线残压低于最大允许残压时,即可允许发出合备用电源断路器命令。

慢速切换作为快速切换和同期捕捉切换的后备切换,当由于某些原因快速切换和同期捕捉切换不能正常进行时,由慢速切换完成切换任务。

3 结语

本文对于快速切换、同期捕捉切换判据的理论分析主要是以预测相位差的变化为基础展开的,此判据已应用在微机备用电源快速切换装置中,装置动作可靠,运行效果理想。当然还有其他方法,将作进一步的研究和探讨。

参考文献:

- [1] 梁世康,许光一.厂用电系统保护[M].北京:水利电力出版社,1986.
- [2] JAWAD F, GHANEEL M, KEYHANI A. Performance analysis of fast reclosing transients in induction motors[J]. *IEEE Trans. on Energy Conversion*, 1999, 14(1): 101-106.
- [3] REYNAUD P P. Reclosing transients in induction machines including the effects of saturation of the magnetizing branch and a practical case study[J]. *IEEE Trans. on Energy Conversion*, 1994, 9(2): 383-389.
- [4] ROGER H D. Bus transfer of AC-induction motors: A perspective [J]. *IEEE Trans. on Industry Applications*, 1990, 26(5): 935-942.
- [5] 西北电力设计院. 电气工程电气设计手册电气二次部分[M]. 北京:中国电力出版社,1996.
- [6] 程晓棠. 厂用电自动母线切换装置的应用探讨 [J]. 山西电力技术, 1999, (4): 52-55.
CHENG Xiao-tang. Discussion on the application of automated bus transfer system [J]. *Shanxi Power Technology*, 1999, (4): 52-55.

(责任编辑:李玲)

作者简介:

张培杰(1979-),男,河南许昌人,硕士研究生,研究方向为配电网自动化(E-mail:zpj_hn@sina.com);

孙国凯(1963-),男,辽宁沈阳人,副教授,研究方向为配电网自动化(E-mail:syndsngk@yahoo.com.cn);

车长海(1971-),男,山东费城人,工程师,从事继电保护工作;

张宝志(1962-),男,黑龙江绥化人,工程师,从事继电保护工作。

Discussion on criteria of station power transfer device

ZHANG Pei-jie¹, SUN Guo-kai¹, CHE Chang-hai², ZHANG Bao-zhi²

(1. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2. Harbin Third Power Plant Co., Ltd., Harbin 150024, China)

Abstract: Based on the analysis of the phase difference between bus residual voltage and standby power supply voltage, the theoretic criteria for station power transfer are introduced. The real-time measurement of phase difference and advance-judgement are used to determine the optimal closing time. The maximum permissible phase difference for fast transfer is calculated to be sixty-three degrees. To take the closing time of breaker into account, the fast transfer criteria are presented for two conditions: one is the normal, faulty, low voltage, miss trip serial transfer modes; the other is the normal, faulty, low voltage simultaneous transfer modes. The synch capture transfer regards zero phase difference as its object, and its theoretic criterion is put forward with consideration of breaker closing time. While the slow transfer criterion is only the bus residual voltage being less than the set maximum permissible residual voltage. The theoretic analysis and practical applications manifest their feasibility and validity.

Key words: station power; fast transfer; synch capture transfer; transfer criterion