新型电源快速切换装置在工业企业中的应用

现有的快速切换装置存在快速切换模式成功率低和同期切换模式速度慢的问题，在工业企业应用中，当母线发生内部故障和电动机起动时，快速切换装置也可能发生误切换。针对以上问题提出了相应的解决方案和改进措施，其中包含一种改进后的实时快速切换算法，以及一种防止误切换的母线内部故障识别和电动机起动识别的闭锁快切逻辑，并研制了一种电源快速切换装置。此外，该装置还引入了变压器星角转换补偿功能，并支持三进线接线方式。

李红艳　王　寅　吴世杰　曹　祯/西门子电力自动化有限公司

李红艳/工程师

关键词/Keywords
实时快速切换·
电动机起动·
故障识别·
闭锁逻辑·

0　引言

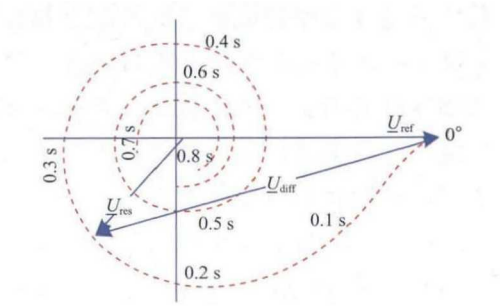
快速切换装置最初源于发电厂厂用电系统，现已在工业系统中得到了广泛应用。类似于厂用电系统，石化、冶金等连续性生产企业内也拥有着大量的低压电动机负荷，变压器或者线路故障会造成电动机负荷停止运行，给企业带来巨大的损失[1]。近年来，适用于工业企业变电站接线及运行方式的快速切换装置相继问世，较之前采用的备用电源自动投入和双电源切换模块，快速切换装置大大提高了工业企业控制的自动化水平，运行效果显著。

工业系统的供用电系统和操作流程比较复杂。目前，快速切换装置的快速切换模式切换成功率太低，而同期切换常导致电动机负荷停转；母线内部故障或者大容量电动机起动均会引起母线电压波动，导致快切装置的误切换。这些问题对工业系统中的快速切换装置提出了更高的要求，因此探索新的适用于工业企业的切换模式和闭锁逻辑具有积极的意义[2]。

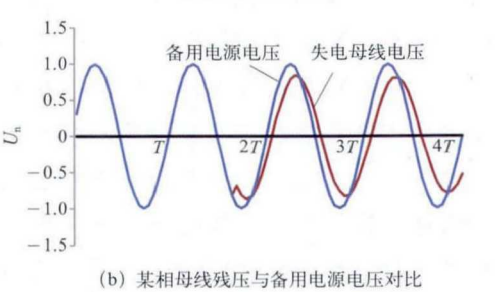
本文首先介绍了快速切换技术的原理，在此基础上，分析了工业企业中用电故障的常见情况以及快切在工业企业中的应用现状；其次提出一种具有改进的实时快速切换模式的电源快速切换装置，并分析了该新型快速切换装置的应用实例。

1　快速切换技术原理

快速切换技术的应用前提是母线上有大量的电动机感性负荷，当工作母线失去供电电源时，电动机存储的能量给母线反供电，在母线上形成残压，其变化趋势如图1所示。快速切换装置以备用电源为基准，判断母线失电压后的母线残压与备用电源之间的频差、角差或压差（相量差）。当频差、角差和压差满足一定条件时，将失电压母线切换到备用电源运行。



(a) 残压向量图



(b) 某相母线残压与备用电源电压对比

图1　母线失电残压曲线

目前，快速切换装置较为推崇的切换模式主要是快速模式和同期切换模式[3]。统计得出，目前快速切换模式常用的整定值频差为1 Hz，相角差为30°，压差为70%U_n左右。现场实践指出，快速切换模式对电动机自起动极为有利，但是由于要求太高，切换成功率太低。同期切换模式常用的整定值频差为5 Hz，角差为5°～10°，压差为(30%～40%)U_n，但是同期切换模式过度依赖相角，切换时母线失电压已经一段时间，再加上合闸延时，切换成功时母线电压较低，容易导致电动机负荷停转。

2 快速切换装置在工业企业中的应用

工业企业中所带的电动机负荷占70%左右，其供用电系统接线较为复杂，母线的出线分支较多，供配电系统内部发生故障的概率较高。经统计，工业企业中母线电压波动原因有以下几种类型[4]：①母线内部故障，低压馈线和用电设备发生故障导致母线电压波动；②电动机起动，大容量电动机起动时导致母线电压下降；③外部故障，外部电网发生短路故障或者解列，导致供电电源中断。

当母线发生内部故障时，若切换到备用电源会对备用电源造成冲击，目前大部分快速切换装置主要通过与保护配合（定值配合和信号互锁）来避免内部故障时快切动作的问题。但是由于快速切换装置的起动速度较快，可能在保护闭锁信号发出之前就已经满足动作条件，另外，系统也不可能给快速切换装置提供所有中低压分支和设备的保护信号作为闭锁信号，因此单纯地依靠两者配合，快速切换装置仍有很大误动作的可能。目前，母线故障导致快速切换装置动作后，主要通过起动后加速保护快速切除故障。

电动机起动引起的母线电压下降，被保护装置误认为线路失电压或者故障的情况屡见不鲜。文献[5]分析了某厂机组在电泵联锁起动过程中发生快速切换导致低压辅机跳闸的事故。文献[6]分析了某建钢厂在起动4 800 kW氧压机电动机时，110 kV变电所差动动作，导致全厂停电的事故。由于大部分保护装置不区分低压或者大电流的来源，当大容量电动机负荷起动时，尤其是母线处于轻载状态时，会导致母线电流大幅上升，电压大幅下降，很容易被装置误认为是母线失电压，从而导致装置误动作。

针对外部故障，最重要的是获取工作电源侧的保护跳闸信号。一些重要负荷最好要与差动保护和快速切换装置配合使用。

综上所述，运行中的母线向备用电源切换的过程是一个复杂的机电暂态过程，特别是在事故切换过程中，电压、频率和相角均会产生快速且难以预测的变化，若切换时机掌握不好或判断失误，可能造成装置的误切换或者重要辅机跳闸。因此改进快切装置的切换方式、起动判据以及切换闭锁逻辑，对提高供电系统的安全性和可靠性具有重要意义。

3 新型快速切换装置

本文在深入研究母线残压特性的基础上，研制了一种新型的母线电源快速切换装置，该装置具有正常手动切换、异常切换、A类电气事故切换（如变压器保护跳闸）以及B类非电气事故切换等几种起动条件，其中异常切换包括低压切换、低频切换、逆功率切换、转差切换以及开关偷跳切换等。除了具有一般快速切换产品的功能外，该装置增加了一种新的实时快速切换模式，并引入了故障识别和电动机起动识别等闭锁逻辑，其起动条件、切换时序以及切换模式的配合如图2所示。

3.1 实时快速切换模式

针对快速切换模式和同期切换模式的不足，根据ANSI/NEMA C50.41—2012指导性原则对实时快速切换算法进行了改进[7]。该原则指出母线快速切换装置合闸时，电动机母线残压与参考电源电压之间的U/f向量差应不超过1.33倍标幺值。新型的改进算法引入母线失电压后实时的电压幅值、相角以及频率等，动态计算残压的频率变化率$\mathrm{d}f/\mathrm{d}t$、角差变化率$\mathrm{d}\varphi/\mathrm{d}t$以及电压幅值变化率$\mathrm{d}U/\mathrm{d}t$，并用来实时预测$U/f$向量差，以确保合闸时刻的相关判据在要求之内，对负荷及电网的影响较小，

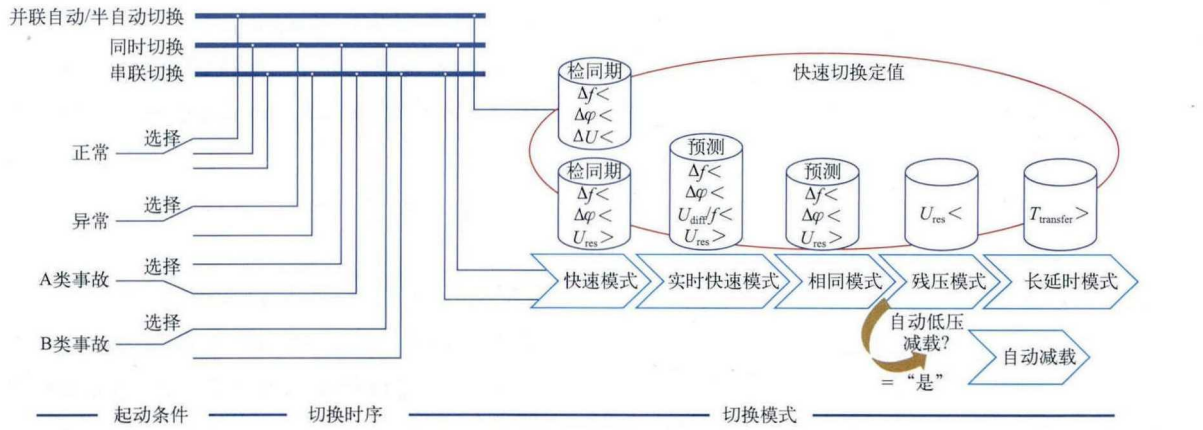


图2　快速切换装置工作流程

实时快速切换的切换应用区域如图3所示。

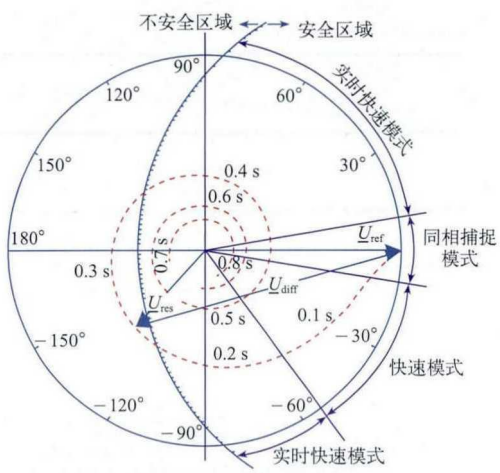


图3　实时快速切换应用区域

实时快速切换算法通过计算实时的母线残压，用户无须因残压特性的改变而调整先前的设定，方便用户进行操作。该算法引入后快速切换区域具有快速和实时快速两种模式，增加了快速切换区域的切换成功率。

3.2　电动机起动识别和故障识别闭锁逻辑

针对异常自起动切换逻辑，该装置提供故障识别和电动机识别的闭锁功能；当装置检测到系统内母线上有内部故障或电动机起动时，提供闭锁异常切换功能。

（1）故障识别

异常起动方式均需在母线内部无故障的情况下起动。在工作母线故障时，快切装置可迅速将母线切换到备用电源上，使备用电源变压器和开关遭受一次故障冲击，扩大事故的范围；在无法收到保护闭锁信号时，该装置通过电压等模拟量信号（尤其是不平衡电压）来识别母线及负荷支路是否存在故障点。

（2）电动机起动识别

同母线失电压类似，当母线上有电动机起动时，均会引起的电压突降。其电压降落与电网的运行方式、系统阻抗、电动机参数以及电动机起动方式有密切关系[8-9]。文献[10]的Simulink仿真结果显示大功率水泵起动会造成6 kV母线电压有效值下降28%左右。与母线失电压不同的是，电动机起动引起母线电压突降后，电压会逐渐趋于正常，而母线失电压时残压会逐渐趋于0 V。该装置可根据母线电压在电动机起动和失电压突降后的不同变化趋势，对两种情况进行区分，可有效地预防在电动机起动时快切装置误动作的现象。

3.3　变压器星角转换补偿功能

该装置还具有变压器星角转换补偿功能，可将高压侧的电压自动转换到低压侧，其系统接线如图4所示。进线1的电压平衡系数为k_1=(38.5 kV/35 kV×0.1 kV)/(6 kV/6 kV×0.1 kV)=1.10，电压转角值为φ_1=30°。此电压平衡系数和转角值可以直接在定值中设定，无须幅值匹配变压器和转角变压器，尤其适用于原有备用电源自动投入改装快速切换工程，低压侧无须加装新的TV。

3.4　丰富的接线形式

绝大多数供电系统一般采用两电源供电，但

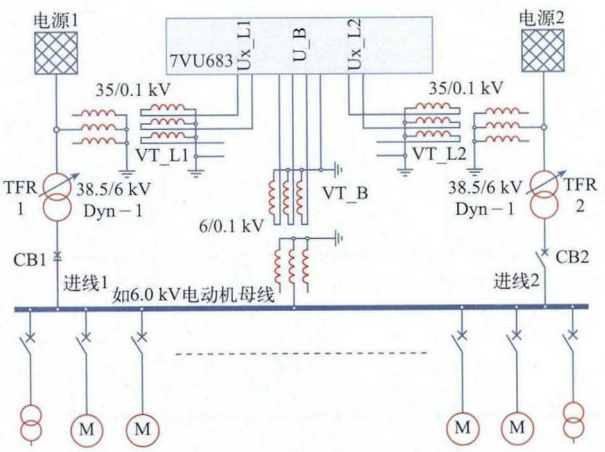


图4 某系统接线

是由于两电源很难做到完全独立，当主电源失电压时，备用电源也可能失电压，所以某些重要的一级负荷或者二级负荷可能会采用三电源供电，或者自备厂内电源。装置除了支持单母双进线、单母分段两进线的接线方式外，还支持单母三进线的供电模式。单母三进线模式的三个开关只能有一个在合位，另外两个在分位，当只有一个备用电源满足充电条件时，由该备用电源切换；而当两个备用电源的充电条件都满足时，遵循顺时针优先的切换原则，如图5所示。

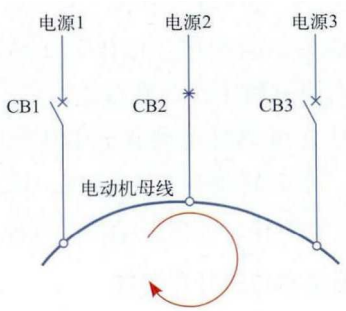
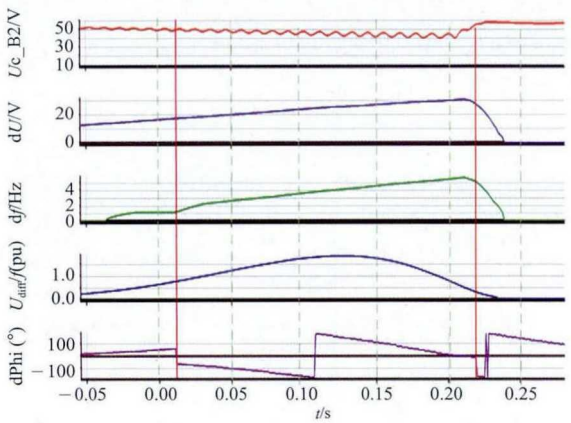


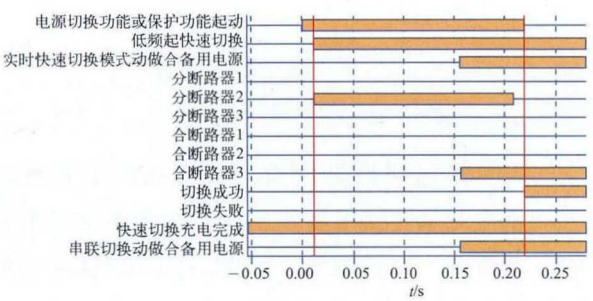
图5 三电源供电模式的切换顺序

4 现场应用实例

江苏斯尔邦石化的供电系统采用的是单母分段接线方式，在正常运行时两条进线各带一条母线，互为备用。快速切换装置安装在10 kV母线处，当某侧进线故障时，跳开该进线开关，闭合母联开关，由另外一条无故障进线带两条母线运行。某次运行时，母线2上带有3台大容量电动机，负荷电流达到160 A左右。进线2故障导致母线2突然失电压，其故障记录如图6所示。由图6可以看出进线2故障后，母线2的电压下降较慢，当装置检测到低频起动时，母线2残压为88%U_n，但角差已达到60°，已经不满足快速切换的条件。140 ms后装置检测到实时快速切换满足条件，实时快速切换动作，50 ms后母联断路器3合闸成功时，此时残压为75%U_n，角差为－8°。由于合闸时刻残压衰减较小，且与备用电源的角差较小（小于30°），完成切换时母线2上的3台电动机无一中断运行。



(a) 母线2失电压残压特性



(b) 切换记录

图6 故障记录

5 结束语

虽然在工业企业中运行效果显著，但市场上的大部分快速切换装置仍然存在着快速模式切换成功率低、同期切换模式错过合适的合闸时机以及在母线内部故障和电动机起动时误动作的问题。本文首先对快速切换技术的原理进行分析，针对工业企业用电常见的故障类型，分析了目前快速切换装置对常见故障处理时存在的问题。在

此基础上，研制了一种具有实时快速切换模式的电源快速切换装置，该方案引入实时快速切换模式，可增加快速切换区域的切换成功率，并引入故障识别和电动机起动识别的闭锁逻辑，可在母线内部故障和母线上有电动机起动时防止快速切换装置误动作。实践证明，该装置在现场运行效果良好，同时验证了方案的有效性。

参考文献

[1] 苗世华，李杰，宗洪良．工业企业电源快速切换装置在低压母线的应用 [J]．电力系统保护与控制，2011，39 (6)：76-79.

[2] 马小兰，李杰，苗世华，等．新型电源快速切换装置在工业企业变电站的应用 [J]．电力自动化设备，2011，31 (4)：139-142.

[3] 党杰，刘涤尘，叶念国．发电厂厂用电源切换技术研究 [J]．电力自动化设备，2005，25 (6)：89-90.

[4] 梁俊涛，陈曙玲．厂矿企业电源无扰动切换方案的探讨 [C]．第十届全国石油和化学工业电气技术年会，昆明，2009：43-47.

[5] 李建河，叶鹏珍，汪广玲，等．电泵联锁启动过程中快切动作分析及处理 [J]．黑龙江电力，2014，36 (6)：557-564.

[6] 邓敏．电机启动导致主变差动保护误动分析 [J]．机械与电子，2013 (17)：138.

[7] 秦雷鸣，曹祯，高迪军，等．新型电源快速切换方法的研究与实现 [J]．电气技术，2012 (6)：16-20.

[8] 司小庆，王徐延，叶婷，等．大容量电机启动方式对电网的影响 [J]．电力建设，2014，35 (7)：121-124.

[9] 刘蒙聪，杨琦，和立辉，等．马达负荷模型与快切装置关联性分析 [J]．陕西电力，2012，40 (10)：01-06.

[10] 许俊巧，邹圣权．电机启动对厂用电系统电压的影响分析 [J]．湖北电力，2005，29 (5)：22-23.

（收稿日期：2017－02－10）EA

(上接第24页)

结果表明：直流偏磁下，励磁电流波形呈现正负半波不对称的形状，励磁电流幅值随着通入GIC的增加而增加；铁心磁通波形也随着直流量的增加向坐标轴正半轴方向偏移，且随着GIC的增加，励磁电流的各次谐波畸变率随之增加，变压器铁心的磁感应强度增大，铁心出现过饱和的情况，车载变压器将异常工作。

参考文献

[1] 刘连光，等．中国广东电网的几次强磁暴影响事件 [J]．地球物理学报，2008，51 (4)：976-981.

[2] Ptitsyna N G，Kasinskii V V，Villoresi G，et al. Geomagnetic effects on mid-latitude railways：a statistical study of anomalies in the operation of signaling and train control equipment on the east-siberian railway [J]. MedSci Entry for Advances in Space Research，2008，42 (9)：1510-1514.

[3] Wik M，Pirjola R，Lundstedt H，et al. Space weather events in July 1982 and October 2003 and the effects of geomagnetically induced currents on swedish technical systems [J]. MedSci Entry for Annals of Geophysics，2009，43 (6)：1775-1787.

[4] 钱学成，等．地磁暴对轨道电路电磁干扰的机理分析 [J]．铁道学报，2015，37 (5)：42-46.

[5] 张曙光．CRH2型动车组 [M]．北京：中国铁道出版社，2008：167-172.

[6] 路长柏，等．电力变压器计算 [M]．哈尔滨：黑龙江科学技术出版社，1986：18-58.

[7] 范婷霞．强磁暴对轨道电路的影响分析 [J]．铁道通信信号，2012，48 (7)：6-7.

（收稿日期：2017－05－15）EA