

「控制系统」

输气管道大功率变频器失电跨越研究

文/中石化石油工程设计有限公司 文 彬

介绍了一个基于Matlab 2013a的10 kV中压交流大功率变频器两种方式实现失电跨越的设计与实现。首先概述了压气站压缩机对供电可靠性要求高，然后针对榆林首站详细叙述了遭遇“晃电”时压缩机、变频器、电源之间的能量交换过程，并设计双电源同期备自投装置，实现两路电源在一路失电情况下，在200 ms以内以同期方式快速投入另一路正常电源，实现双电源无缝切换。具有很强的实用性及推广性。

中石化从2007年开始，陆续建设了川气东送、榆济管道和正在建设的川气增压二期、榆济增压等，运行中频繁出现大功率变频器在雷雨季节或外电故障，均遇到变频器断电，造成压缩机停机的问題。输气管道心脏是压气站，主要采用110 kV双电源接入地方电网，电网可靠性直接关系到压气站正常运行。

以榆林首站为例，首站压缩机采用变频调速驱动系统。主要设备为隔离变压器、变频器、电机。

变频器控制隔离变压器及电机的运行。变频器对电网要求较高，不允许供电系统出现较大压降。当电网电压过低时，变频器将发送跳闸命令，断开隔离变压器的上游开关，从而引起电机停转，压缩机停机。历次压缩机停机现象表明，给压缩机驱动电机提供电能的变频器对供电质量要求比较高，一旦电网发生闪断或扰动，变频器会停止运行，造成压缩机停机。下表为榆林首站投产以来由于外部电源故障造成的压缩机停机列表。

表

序号	日期	停机时间/ min	故障描述	原因分析
1	2011.2.11	65	2#压缩机紧急停机，同时1#、2#空压机停机，压缩机房、辅助用房及变电所照明出现闪断现象	电网波动较大，造成2#变频器电流速断，引发变频器内部OER（光电转换）板烧毁
2	2012.5.28	98	站内运行的2#、3#压缩机停机并自动放空，空冷器、空压机、循环泵以及喷淋塔等辅助设备停机	西沙变电站外输线路西昌线进行倒闸操作过程中造成西济线电压波动
3	2015.8.31	109	全站停电，正在运行的1#、4#压缩机及其辅助设备全部停机	上级变电站（沙石岭变电站）线路开关跳闸，引发首站全站失电。
4	2015.9.24	33	正在运行的1#和3#压缩机停机，所有辅助设备停止运行	双河变电站上级线路故障引发首站全站失电

一般情况下,压缩机及其辅助系统从停电停车后,从供电恢复正常至实现天然气外输至少需要75 min(其中电机吹扫需20 min、干气密封加热器满足起动条件需15 min、起机程序需20 min、加载外输需5 min、其他条件需15 min)。为此,压缩机及其辅助系统对电网提出了比较高的要求,需要确保压缩机及辅助系统的稳定、不间断的电力供应,确保电力系统不停电。

压气站电力系统暂态仿真

本项目采用Matlab/Simulink进行压气站电力系统暂态仿真,仿真采用主接线图如图1所示。10 kV侧负荷因为没有动能回馈,采用两个恒功率负荷等效(13 MW, 2.7 MVar), 400 V侧负载为10台30 kW三相异步电机(Y2-200L1-2)和1台55 kW(Y2250M-2)的三相异步电机。当系统1出线故障时,断开1DL合上2DL恢复供电。

(1) 电力仿真模型及参数计算

搭建Matlab/Simulink仿真模型

Matlab中help给出的等效电路和数学等式如图2所示。

三相异步电机参数由华电电机教研室提供。其中30 kW电机参数设置如图3所示, 55 kW电机参数设置如图4所示。

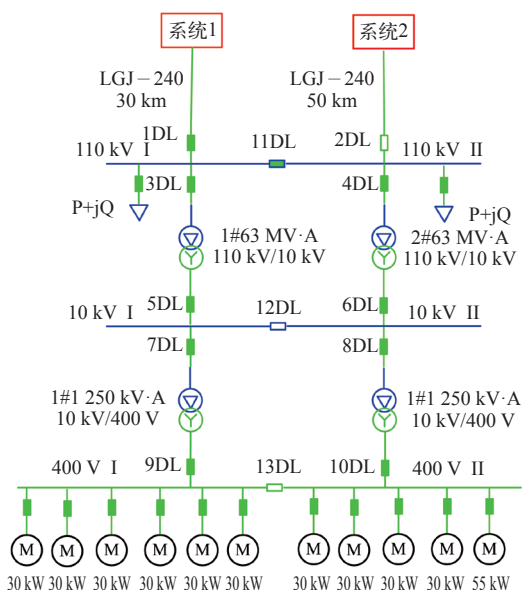


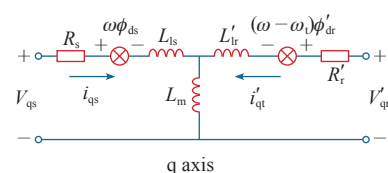
图1 主接线图

异步电机参数需要由空载、短路试验的数据求得。

(2) 掉电后电机转速变化情况

1) 图5给出了一台380 V、30 kW, 所带负载机械转矩95 Nm的三相异步电机在突然掉电(6 s时)后的转速变化曲线。经200 ms, 电机转速由2 843掉到2 510。

Electrical System



$$V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \phi_{qs} + \omega \phi_{ds}$$

$$V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \phi_{ds} - \omega \phi_{qs}$$

$$V'_{qr} = R'_r i'_{qr} + \frac{d}{dt} \phi'_{qr} + (\omega - \omega_r) \phi'_{dr}$$

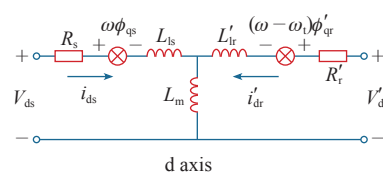
$$V'_{dr} = R'_r i'_{dr} + \frac{d}{dt} \phi'_{dr} - (\omega - \omega_r) \phi'_{qr}$$

$$T_e = 1.5p(\phi_{ds} i_{qs} - \phi_{qs} i_{ds})$$

Mechanical System

$$\frac{d}{dt} \omega_m = \frac{1}{2H} (T_e - F\omega_m - T_m)$$

$$\frac{d}{dt} \theta_m = \omega_m$$



$$\phi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i'_{qr}$$

$$\phi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i'_{dr}$$

$$\phi'_{qr} = L'_r i'_{qr} + L_m i_{qs}$$

$$\phi'_{dr} = L'_r i'_{dr} + L_m i_{ds}$$

where

$$L_s = L_{ls} + L_m$$

$$L'_r = L'_{lr} + L_m$$

图2 等效电路和数学等式

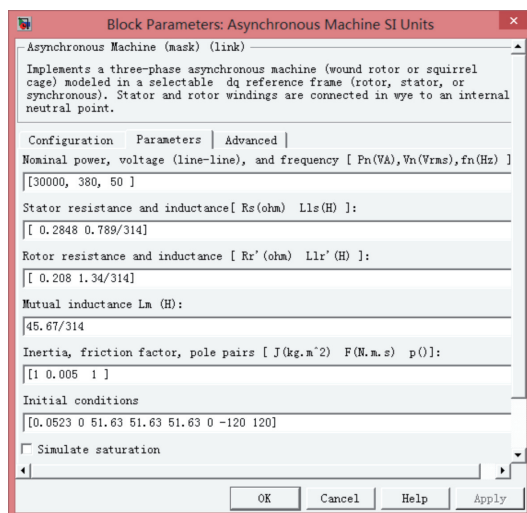


图3 30 kW电机参数设置

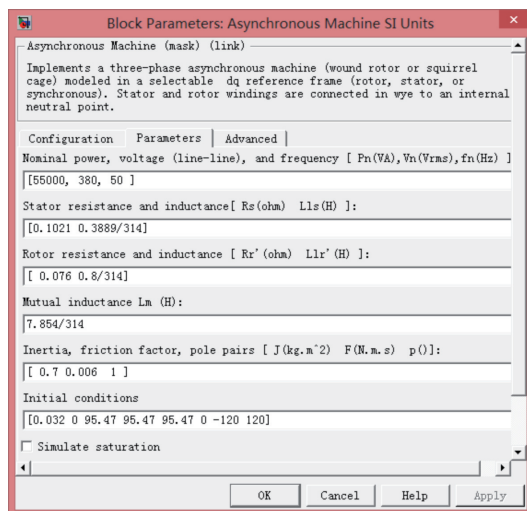


图4 30 kW电机参数设置

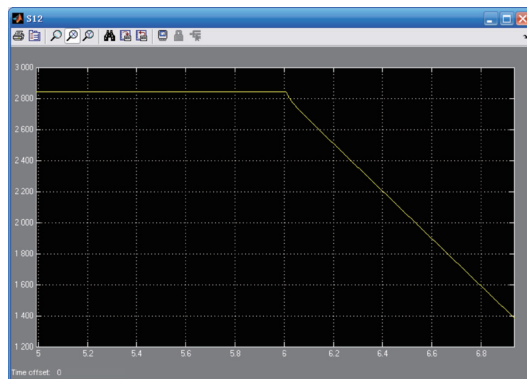
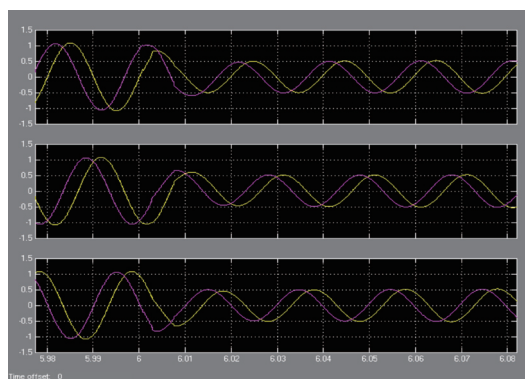


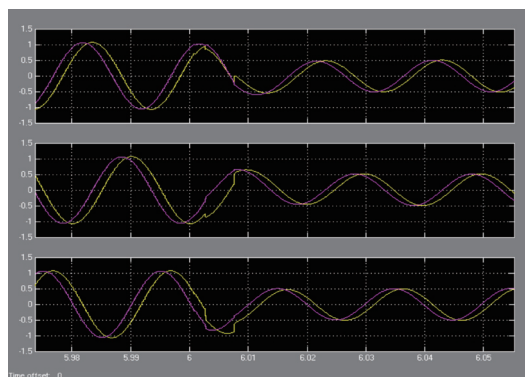
图5 电机转速变化曲线

2) 掉电后400 V反应110 kV、10 kV电压变化情况

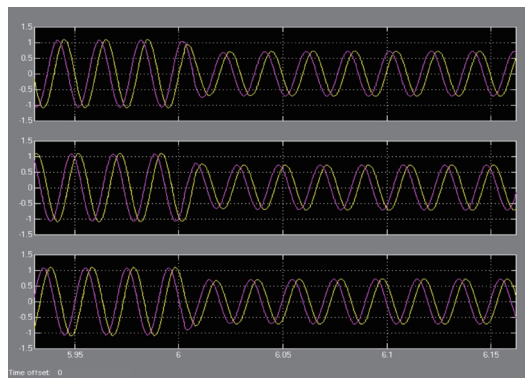
两进线一用一备的情况进行仿真，系统的开关状态如图1主接线图所示。对系统I出线故障在



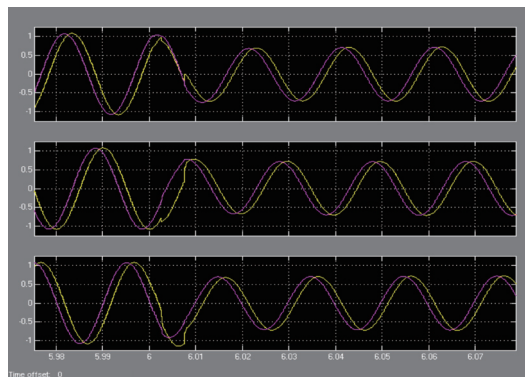
(a) 110 kV、400 V侧电压变化曲线



(b) 10 kV、400 V侧电压变化曲线



(c) 110 kV、400 V侧电压变化曲线



(d) 10 kV、400 V侧电压变化曲线

图 6

6 s时出现故障,断开1DL,400 V反应110 kV,10 kV电压变化情况,仿真结果如图6a、6b所示。

两进线同时供电的情况进行仿真,系统的开关状态为11DL,12DL,13DL开关状态为打开,其他开关均为闭合。对系统1出线故障在6 s时出现故障,断开1DL。400 V反应10 kV,110 kV电压变化情况,仿真结果如图6c、6d所示。

由曲线分析可知:110 kV 10 kV、400 V侧电压变化规律基本相同,400 V侧电压可基本反映110 kV、10 kV侧电压的变化规律。

3) 短时失电又恢复供电时110 kV,10 kV母线电压、电流、相角及频率变化,两进线一用一备的情况进行仿真,系统的开关状态如主接线图所示。对系统进行对系统1出线故障在6 s时出现故障,300 ms后通过系统2恢复供电时,110 kV,10 kV母线电压、电流、相角及频率变化进行暂态仿真。

(3) 结合现场备自投试验,得出如下结论

当380 V电机总容量比较小时,应退出快速合闸方式,投入同期捕捉合闸方式。一般而言,电机容量越小,额定电压越低其产生的残压衰减速度就越快。结果是,快速合闸方式下,发合令的时候频差和相位差很小,但是开关闭合的瞬间,频差和相位差变得很大,相位差甚至达到一百多度。试验结果也验证了这点。容量为127 kW的负荷,快速合闸方式下空压机跳闸。容量为260 kW的负荷,快速合闸方式下空压机也跳闸。可以看出,快速合闸的冲击电流比同期捕捉合闸方式大很多。但开关固有合闸时间整定与实际有偏差,其冲击电流数值不做参考。不过,这也从另一方面证明了,开关固有合闸时间的定值整定对同期捕捉合闸方式的影响较大。

把400 V母线的电压直接10 kV同期备自投中对切换而言无明显效果。对比试验结果,快速合闸在躲过电机自启动电流冲击后仍然会造成空气断路器跳闸。造成电机变频器保护跳闸其根本原因是母线残压衰减太快,合闸时刻相位差太大,无法同期合闸。

开发高压变频器低电压穿越和双电源同期备自投装置

步骤一。开发输气管道大功率变频器的低电压穿越、动能缓冲功能、转速跟踪起动功能。

步骤二。将备自投及快切装置开发成同期合闸装置,以配合变频器自身抗晃电能力。

步骤三。对0.38 kV控制回路进行改造,将0.38 kV压缩机辅机控制电源由常规市电供电改为不间断电源供电或加装防晃电继电器。

在所述步骤一中,在低电压穿越过程中控制系统和功率单元工作正常,不要求有功功率输出,压缩机装置运行不间断,电网恢复时快速平滑切入正常工作状态。

所述动能缓冲功能是:在出现电网短时失电故障时,为保持生产的连续性,电压型逆变器继续工作,通过降低电动机转速,把电机部分动能回馈至电动机的直流储能电容,维持一个低电压,使控制电路继续工作,待电网电压恢复后电动机重新加速到原转速。

所述转速跟踪起动功能用于起动正在旋转中的电动机,在变频器经过低电压穿越功能和动能缓冲功能后,如果电网还未恢复供电,或者变频器的输出频率与电动机转速不匹配,转差率大,将导致电流冲击,因此,需根据转速来设置变频器的初始频率,使变频器能自动检测电动机的实际转速,据以设置初始频率。

所述步骤二中采用一种以捕捉首次同相点为主要切换方式,以残压切换作为后备切换方式的压缩机双电源切换的方法,该快速同期合闸装置是将残压切换给捕捉同期算法提供后备,当同期捕捉条件不满足时,保证原有的技术手段不失灵。

在所述步骤三中,所述不间断电源供电或防晃电继电器能在电源短时失电时,确保交流接触器线圈不失压脱扣。

在电网故障导致母线失电的工况下,配合变频器的抗晃电能力前提下,在500 ms以内快速投入备用电源,迅速再受电继续运转。

开发变频器自身抗晃电能力技术,解决电力系统电压瞬时骤降和中断时利用离心压缩机同步电机返送给变频器的能量,维持变频器直流母线电压,降低压缩机电机转速,在压缩机不进入喘振区的工况下,变频器重新捕捉压缩机电机的转速,将压缩机电机重新拉入正常运行状态,实现不停电功能。并且采用同期快速切换装置,配合变频器的二次开发应用,使得电压凹陷及中断供电现象得以改善。EA

(收稿日期:2017.04.06)

(编辑:刘群焱)