一起晃电导致 400 V 电机异常跳闸事件的分析

叶朋珍[1],苏兴[1],张广运[2]
(1. 皖能铜陵发电有限公司,安徽 铜陵 244012; 2. 国核工程有限公司,上海 200233)

摘 要:针对一起晃电时 400 V 辅机跳闸事件,结合系统运行方式及故障类型,分析导致跳闸的根本原因。对各类故障可能导致类似事件发生的概率进行统计,为了提高设备运行可靠性,提出了 400 V 设备控制电源的设计改进思路。

关键词:晃电;跳闸;控制电源;故障类型;概率
中图分类号:TM 306 **文献标志码**:B **文章编号**:1674 - 1951(2018)01 - 0046 - 04

0 引言

电力系统运行时会遇到多种故障,由于雷击、短路故障重合闸、企业外部或内部电网故障、大型设备启动等原因,造成电压瞬间较大幅度波动或短时断电又恢复,这种现象称为晃电。目前,大部分 400 V 设备的控制电源均为从 400 V 抽屉式开关上端口经熔丝或空气开关取本身的动力交流电源,一般有取单相 220 V 电源和两相 380 V 电源两种,只有部分重要设备的控制电源取自直流电源或不间断电源(UPS),由于晃电影响控制电源导致设备跳闸的事件时有发生[1-3]。

电磁式交流接触器是一种应用广泛的低压电器产品,当晃电故障发生时,交流接触器可能因为电压不稳定而频繁接通或分断,对系统造成很大的影响。考虑经济性和简洁性,取本身交流动力电源作为控制电源的情况较多,因此,本身交流动力电源的可靠性直接关系到设备的安全稳定运行,研究探讨取自动力电源的控制电源可靠性问题是非常必要的。

1 事件经过

某厂 #4 机组为 300 MW 机组,主接线采用发电机变压器组(以下简称发变组)接线,接入 220 kV 系统。电气 6 kV 厂用电系统为不接地系统,设置为 4 段母线运行,6 kV 工作 IVA 段及 6 kV 公用 02 A 段联络运行,6 kV 工作 IVB 段及 6 kV 公用 02B 段联络运行,低压厂用变压器均为 Dyn11 接线的变压器,400 V 系统为直接接地系统,如图 1 所示。

2016 - 08 - 06 T 01:20,6 kV 的 4B 开式泵电机运行中速断保护动作,发变组故障录波器记录 6 kV IVB 段 BC 相故障。4B 开式泵电机保护装置记录的动作时故障电流为:A 相,41.0 A; B 相,632.9 A; C 相,627.3 A。继电保护综合装置整定值为 6.21I_n(I_n 为额定电流,5A),电流互感器(CT)变比为 75/5,故一次电流整定值 为 465.75 A。4B 开式泵电机一次设备故障的同时,发生了 400 V 的 4B 空气预热器(以下简称空预器)主电机跳闸,辅电机联锁启动。检查空预器主电机绝缘电阻为 600 MΩ,空预器主电机无异常信号,联锁运行的 B 辅电机运行也正常。

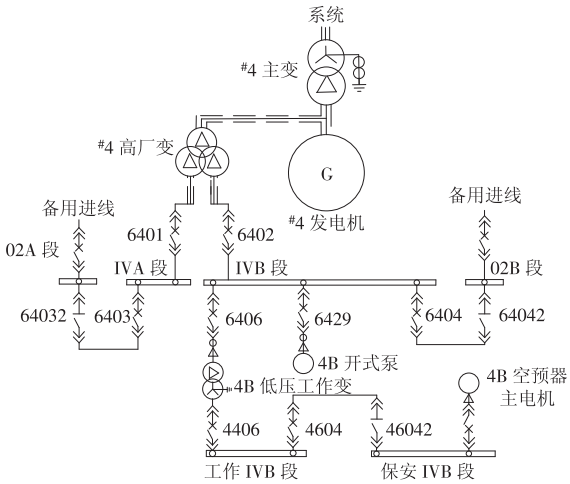

图 1 厂用电接线

值班人员检查了 4B 开式泵电机,测量相间绝缘电阻大于 100 MΩ,对地绝缘电阻大于 300 MΩ,拆开电机通风挡板,发现电机端部引线处根部有 2 处炸裂,4B 开式泵电机故障明确。但 4B 空预器主电机跳闸,而其他所有辅机均未受影响的原因不明。

2 事件原因分析

B 空预器切换过程中,其他 400 V 辅机均未发生切换,整个 400 V 系统的辅机中只有 4B 空预器主电机发生了跳闸。进一步分析发现,空预器永磁改造后,空预器主、辅电机的 400 V 抽屉式开关控制回路发生了变化,改造后取 B,C 两相 380 V 控制电源电压(如图 2 所示),其他 400 V 抽屉式开关均取 A 相单相 220 V 控制电源电压(如图 3 所示)。

收稿日期:2017 - 06 - 02;**修回日期**:2017 - 12 - 28

从图 4 所示的故障录波图形可以看出:IVB 段发生了 1 ~2 个周波的短路故障,故障时间约 30 ms;IVB 段电压经过了 4 ~5 个周波的非正常电压波形后正常,故障的同时产生了零序电压。4B 开式泵电机发生了 BC 相接地短路。

4B 空预器与 4B 开式泵主电源均取自高压厂用变压器 B 侧的 IVB 分支,4B 空预器主电机电源取自保安 IVB 段,保安 IVB 段电源取自 6 kV 的 IVB 低压

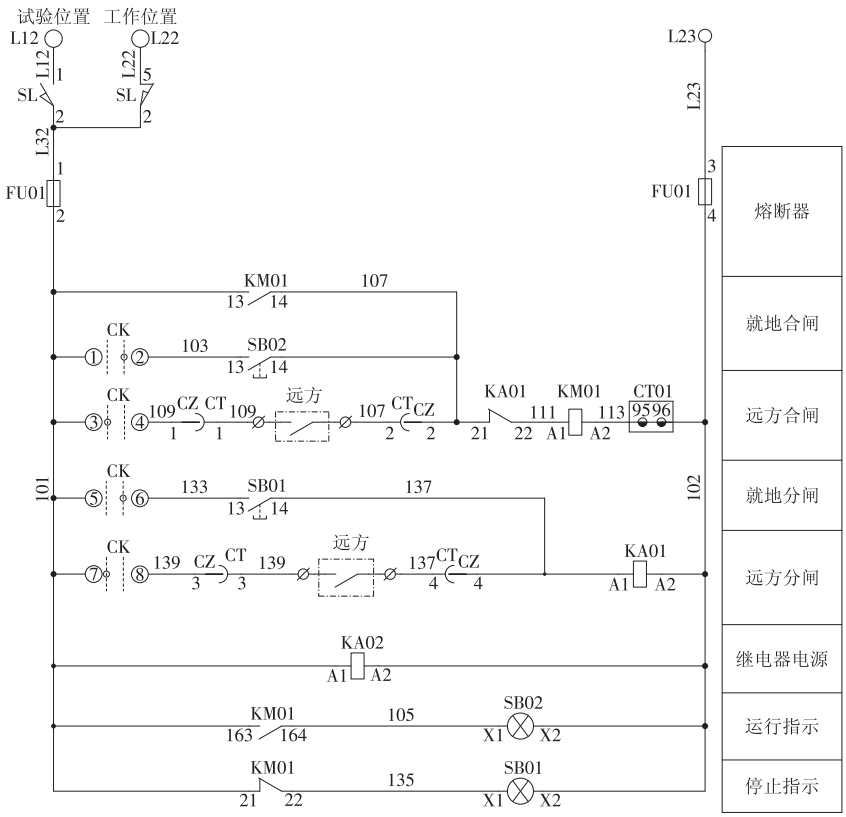

图 2　4B 空预器主电机控制回路

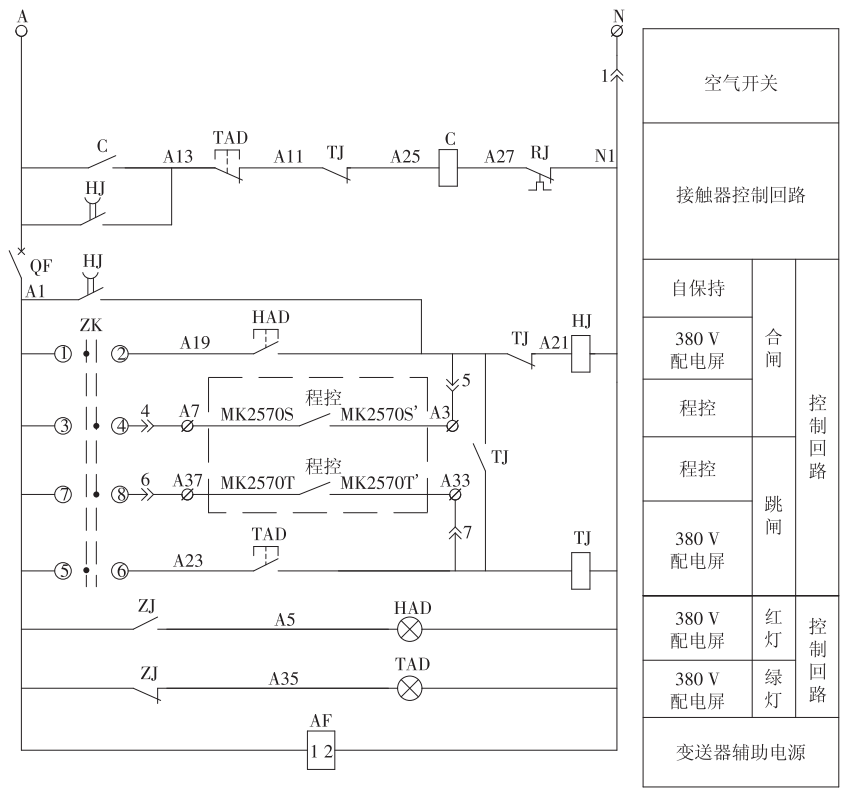

图 3　其他 400 V 电机控制回路

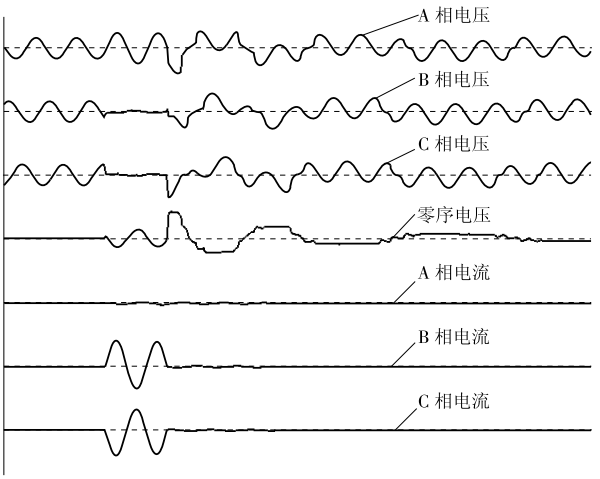

图4　6 kV IVB 段录波

厂用变压器(以下简称低厂变)低压侧(如图5所示)。4B 开式泵 BC 相短路过程中,6 kV B 侧分支电压下降,IVB 低厂变低压侧对应的 BC 线电压降低,导致 B 空预器主电机 380 V 接触器返回,4B 空预器主电机跳闸,辅电机联锁动作。由于 B 侧其他 400 V 辅机控制电源均取自 A 相单相 220 V 交流电源,4A 空预器主电机运行在 A 侧,A 侧电压未受影响正常运行。

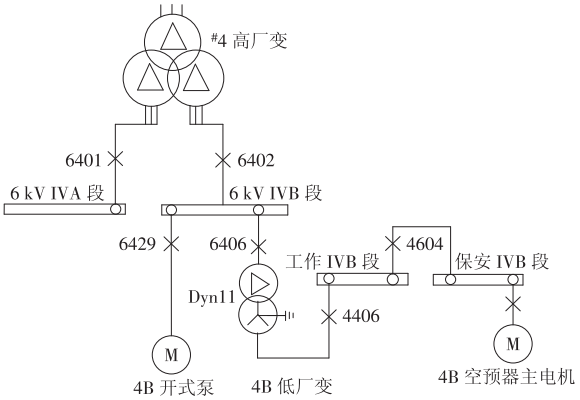

图5　故障设备接线示意

不考虑继电保护装置能快速动作的情况下,由于完全三相短路,变压器低压侧无电压,继电保护和断路器切除时间均大于接触器临界时间 Δt,均可导致采用交流控制电源的设备全部跳闸[4],故不考虑三相短路,主要考虑以下3种类型故障:单相接地、两相短路、两相接地短路。对于 Dyn11 接线的变压器,高压侧出现这3种类型故障,低压侧三相电压计算如下(下文中计算数值均为标么值)。

以上文中的两相接地短路故障为例,计算 6 kV 系统电源故障时 400 V 电压下降值。设系统为无穷大系统,则 6 kV 系统两相接地短路时,6 kV 及 400 V 电压计算如下(高压(角)侧使用大写字母,低压(星)侧使用小写字母,计算中均使用标么值)[5]。

角侧电压

$$\dot{U}_{KA1}^{(2)} = \dot{U}_{KA2}^{(2)} = \dot{U}_{KA0}^{(2)} = 0.5 。$$

星侧电压

$$\dot{U}_{ka1}^{(2)} = \dot{U}_{KA1}^{(2)} e^{j30} = 0.5e^{j30},$$

$$\dot{U}_{ka2}^{(2)} = \dot{U}_{KA2}^{(2)} e^{-j30} = 0.5e^{-j30},$$

$$\dot{U}_{ka0}^{(2)} = 0 。$$

故障时,400 V 系统电压为

$$\dot{U}_a = \dot{U}_{ka1}^{(2)} + \dot{U}_{ka2}^{(2)} + \dot{U}_{ka0}^{(2)},$$

$$|\dot{U}_a| = 0.866 。$$

同理得 $|\dot{U}_b| = 0$, $|\dot{U}_c| = -0.866$, $|\dot{U}_{ab}| = 0.866$, $|\dot{U}_{bc}| = 0.866$, $|\dot{U}_{ca}| = 1.732$, 即高压角侧 BC 相接地短路故障,低压 B 相电压降低至0,另外两相降低至86.6%,线电压只有 CA 线电压正常,其他线电压均降低至50%。

同理,可以计算出高压侧单相接地短路故障、两相短路故障情况下,低压侧相电压和线电压下降幅度。经过计算,高压侧各类故障情况下低压侧电压见表1。

表1　故障情况下 400 V 电压理论计算值

故障	电压	高压侧(△)/%	低压侧(Y)/%
两相短路(B,C 相短路)	U_A/U_a	100	86.6
	U_B/U_b	50	0.0
	U_C/U_c	50	86.6
	U_{AB}/U_{ab}	100	50.0
	U_{BC}/U_{bc}	0	50.0
	U_{CA}/U_{ca}	100	100.0
两相接地短路(B,C 相接地短路)	U_A/U_a	100	86.6
	U_B/U_b	0	0.0
	U_C/U_c	0	86.6
	U_{AB}/U_{ab}	100	50.0
	U_{BC}/U_{bc}	0	50.0
	U_{CA}/U_{ca}	100	100.0
单相接地短路(A 相接地)	U_A/U_a	0	100.0
	U_B/U_b	100	100.0
	U_C/U_c	100	100.0
	U_{AB}/U_{ab}	100	100.0
	U_{BC}/U_{bc}	100	100.0
	U_{CA}/U_{ca}	100	100.0

根据接触器返回电压特性和国标 GB 14048.4—2010《低压开关设备和控制设备 第4-1部分》,单独使用或装在启动器中的电磁式接触器,在 85% ~ 110% 额定控制电源电压(U_s)应可靠闭合;接触器释放和完全断开的极限值是 20% ~ 75% U_s(交流)[6-9]。此次事件中,当高压侧 BC 相接地短路,低

压侧 U_{bc} 控制电压降低至 50% 额定电压,小于接触器释放电压 75% U_s 后,接触器释放跳闸,B 空预器主电机跳闸。

计算 Dyn11 接线角侧各类故障情况下星侧电压,对单相控制电源及两相控制电源能否可靠保持运行(>75% U_s)进行统计分析,结果见表 2。

表 2　各类故障情况下控制电压能否维持运行

故障	μ_a	μ_b	μ_c	μ_{ab}	μ_{bc}	μ_{ca}
$d_A^{(1)}$	√	√	√	√	√	√
$d_B^{(1)}$	√	√	√	√	√	√
$d_C^{(1)}$	√	√	√	√	√	√
$d_{AB}^{(2)}$	×	√	√	×	√	×
$d_{BC}^{(2)}$	√	×	√	×	×	√
$d_{CA}^{(2)}$	√	√	×	√	×	×
$d_{AB}^{(1,1)}$	×	√	√	×	√	×
$d_{BC}^{(1,1)}$	√	×	√	×	×	√
$d_{CA}^{(1,1)}$	√	√	×	√	×	×

注:μ_φ($\mu_{\varphi\gamma}$)表示控制电源取自 φ 相电压($\varphi\gamma$ 线电压);$d_\alpha^{(1)}$ 表示对应 α 相单相接地故障;$d_{\alpha\beta}^{(2)}$ 表示对应 $\alpha\beta$ 相两相短路故障;$d_{\alpha\beta}^{(1,1)}$ 表示对应 $\alpha\beta$ 相两相接地短路故障。

根据以上统计分析,设 400 V 设备控制电源取单相电源(220 V)作为控制电源,在以上 3 种故障情况下,接触器能维持吸合运行的概率为 77.8%,而取两相电源(380 V)作为控制电源,在以上 3 种故障发生情况下,接触器能维持吸合运行的概率为 55.6%。相比较而言,取单相电源(220 V)作为控制电源,在高压侧发生各类故障情况下能维持接触器吸合运行的概率是取单相电源的 1.4 倍。故建议在 400 V 设计时宜选取单相电源作为接触器控制电源。

3　解决措施

根据分析结果,在取交流动力电源作为控制电源时,建议设计时宜选取单相电源(220 V)作为接触器控制电源。

由于取单相电源作为控制电源,高压侧发生故障情况下,仍然可能导致接触器失压设备跳闸,故重要设备还是宜选取直流控制电源或 UPS,避免高压系统故障过程中可能导致的重要辅机跳闸,影响机组的运行[10]。

4　结论

对此次 400 V 电机的一次异常跳闸情况进行分析,发现对于 Dyn11 接线,角侧故障可能导致星侧电压变化,对其他类型故障进行了同样的分析,并统计各类故障情况下高压侧故障可能影响低压侧 400 V 设备的运行情况,结果表明,低压侧 400 V 设备宜选用单相电源(220 V)作为设备的控制电源。

将从系统接入的交流动力电源作控制电源,无论哪种接线方式均无法彻底避免运行设备受系统动力电源的影响,故重要设备应采用直流电源或 UPS 作控制电源,确保重要设备不受系统故障的影响。

参考文献:

[1]张风平,哈新智,帅安文,等."晃电"不停机的解决方案[J].化工自动化及仪表,2007,34(1):86 - 88.
[2]张学军,尹丽辉,陈鹏.磨煤机控制电源隐患分析与解决对策[J].内蒙古电力技术,2009,27(S1):90 - 92.
[3]杨建翔,王英莉.抗晃电的快速保护方案研究[J].电力系统保护与控制,2015,43(17):87 - 92.
[4]芦新茹.三相异步电动机断相运行分析[J].辽宁工学院学报,2002,22(3):21 - 23.
[5]崔家佩.电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M].北京:中国电力出版社,1993.
[6]李建河,叶朋珍,汪广玲,等.电泵联锁启动过程中快切动作分析及处理[J].安徽电气工程职业技术学院学报,2014,19(3):30 - 35.
[7]钟涛,陈礼频,汪颖,等.某实际配电线路晃电事故原因分析与电磁暂态仿真[J].电气应用,2014,33(23):138 - 144.
[8]低压开关设备和控制设备 第 4 - 1 部分:GB 14048.4—2010[S].
[9]林抒毅,许志宏.晃电故障下交流接触器的工作特性分析[J].中国电机工程学报,2011,31(24):131 - 137.
[10]何丙茂.无人值班变电站保护控制电源的可靠性[J].华东电力,1994,22(9):39 - 40.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

叶朋珍(1983—),男,安徽太湖人,工程师,工学硕士,从事发电厂电气生产管理工作(E-mail:ypzabc2008@163.com)。

(上接第 45 页)化,内容仅供参考。

参考文献:

[1]周洪义.调节阀压差的确定[J].石油化工自动化,2004(1):86 - 94,96.
[2]陆德明.石油化工自动控制设计手册[M].北京:化学工业出版社,2001.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

杨春明(1981—),男,江苏盐城人,工程师,从事化工、电力行业热控、仪表方面的设计工作(E-mail:15951944867@139.com)。