

基于状态电流的发—变组合单元 纵向故障的快速判断*

胡友富

(郑州工学院计算机与自动化系 450002)

摘 要: 内容提要,本文对发电机—变压器组合单元,因三相油开关在运行中或在并、解列操作中非全相引起的纵向故障进行了状态分析,提出了用状态电流进行故障快速判断的思路,相信对电厂运行人员有一定的参考价值。

关键词: 组合单元; 状态; 纵向故障; 判断

中图分类号: TP206

1 概述

据河南电力试验研究所提供的资料显示,电厂中的发电机—变压器组合单元[以下简称发—变组合单元]变压器高压油开关,在运行中或在并、解列操作中,非全相引起的纵向故障时常发生,影响了电厂的安全生产,造成了严重的经济损失。为此,能源部于1990年下发了14号文件,各网局、省局组织有关专家进行事故分析,举办各种讲座和培训班,制定了反事故措施,这些是必要的。反过来,一旦发生了这类纵向故障,电厂运行人员如何迅速判断原因,采取事先已备的应急措施,避免出现设备事故,将损失降低到最低限度,也是必要的。为此目的本文试图在计算方法上作些分析和推导。

电厂中发—变组合单元与系统的主接线如图1所示。图中F为发电机,B为变压器,DL为油开关,S为系统。分析时,认为系统为无穷大,取变压器高压侧油开关为断口,运用对称分量法导出其计算式。

1.1 纵向故障的两种基本类型

1.1.1 a相油开关断开, bc两相接通

此时其综合序网见图2,各序电流为

* 收稿日期: 1995-03-15

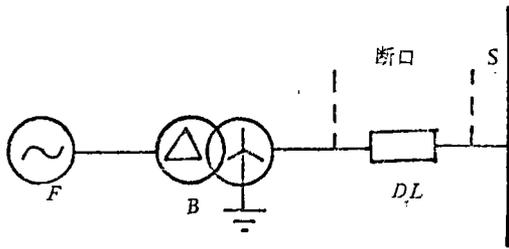


图1

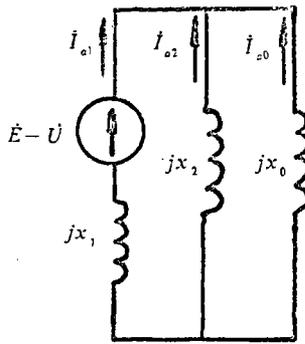


图2

$$\begin{cases} \dot{I}_{a1} = \frac{\dot{E} - \dot{U}}{j(x_1 + x_2 \parallel x_0)} \\ \dot{I}_{a2} = -\frac{(\dot{E} - \dot{U})(x_2 + x_0)}{j(x_1 x_2 + x_2 x_0 + x_0 x_1)} \\ \dot{I}_{a0} = \frac{(\dot{E} - \dot{U})x_2}{j(x_1 x_2 + x_2 x_0 + x_0 x_1)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_{a2} = -\frac{(\dot{E} - \dot{U})x_0}{j(x_1 x_2 + x_2 x_0 + x_0 x_1)} = -\dot{I}_{a1} \frac{x_0}{x_2 + x_0} = -\dot{I}_{a1} \frac{x_2}{x_2 + x_0} \end{cases} \quad (1)$$

显然，从序电流计算公式看，此种故障相当于发电机端点的两对中心点相短路。

2、a相油开关通，bc两相断开

综合序网见图3，各序电流为

$$\dot{I}_{a1} = \dot{I}_{a2} = \dot{I}_{a0} = \frac{\dot{E} - \dot{U}}{j(x_1 + x_2 + x_0)} \quad (2)$$

此种故障相当于发电场端点发生单相对中心点短路。其中 \dot{E} 为折向变压器高压侧的发电机电势； \dot{U} 为系统电压，对大系统， \dot{U} 为恒值；

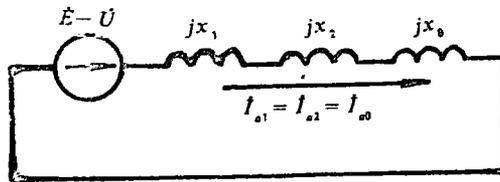


图3

\dot{I}_{a1} 、 \dot{I}_{a2} 、 \dot{I}_{a0} 为变压器高压侧的正序、负序、零序电流。

x_1 、 x_2 、 x_0 为组合单元的正序、负序、零序阻抗。

(二) 组合单元的正序、负序、零序阻抗

设 x_d 为发电机的同步电抗， x_{-} 为发电机的负序电抗（若手中无 x_{-} 数据，可用次暂态电抗 x_d'' 代替）， x_b 为变压器短路电抗，由于发电机中性点不接地，不计发电机的零序电抗。组合单元的各序阻抗与变压器联接组以及发电机的转差（转速）有关。

1.2.1 变压器采用 (YN, D11), 发电机转子小转差或同步速

$$\begin{cases} x_1 = x_d + x_B \\ x_2 = x_- + x_B \\ x_0 = x_B \end{cases} \quad (3)$$

1.2.2 变压器采用 (Y, d11), 发电机转子小转差或同步速

$$\begin{cases} x_1 = x_d + x_B \\ x_2 = x_- + x_B \\ x_0 = \infty \end{cases} \quad (4)$$

1.2.3 变压器采用 (YN, d11), 发电机转子大转差

$$\begin{cases} x_1 = x_2 = x_- + x_B \\ x_0 = x_B \end{cases} \quad (5)$$

1.2.4 变压器采用 (Y, d11), 发电机转子大转差

$$\begin{cases} x_1 = x_2 = x_- + x_B \\ x_0 = \infty \end{cases} \quad (6)$$

2 发-变组合单元的状态分析和状态电流的计算

式 (1) 和 (2) 中的正序电流可以简写成

$$I_{a1} = \frac{\dot{E} - \dot{U}}{jx_{\Sigma}} = \frac{\dot{E} - \dot{U}}{jx_1} \cdot \frac{x_1}{x_{\Sigma}} = I \cdot K \quad (7)$$

$$\text{其中 } I = \frac{\dot{E} - \dot{U}}{jx_1} \quad (8)$$

为纵向故障发生前瞬间发-变组合单元稳定时的状态电流。

$$K = \frac{x_1}{x_{\Sigma}} = \frac{I_{a1}}{I} \quad (9)$$

为正序电流倍数, 与 x_{Σ} 有关, x_{Σ} 见 (1)、(2) 式。

由 (7) 式看出, 当发-变组合单元结构确定后, 纵向故障下各序电流的大小与故障发生前瞬间单元的状态有关。换言之, 只要判断出了组合单元纵向故障前瞬间的状态, 而且该状态下的电流可以算出, 则可由 (7) 和 (1) 式或 (7) 和 (2) 式算出故障发生时的各序电流。这样, 我们不妨根据已经掌握的纵向故障事例, 事先设定一些状态, 求出状态电流及不同纵向故障各序电流来, 供电厂人员掌握, 一旦发生纵向故障, 相信能提高判断和处理这类故障的能力。

根据文献 (1) (2) 介绍的背景材料, 初步把发-变组合单元纵向故障发生前瞬间可能处的状态分为四类, 现分别介绍。

2.1 发电机带负荷运行时发生纵向故障

以满载运行为例, 组合单元运行时的相量图见图4, 图中 φ 为负载的功率因数角, δ 为功角, \dot{E} 为发电机电势, 由激磁电流调节, \dot{U} 为网络电压, jIx_1 为同步电抗压降。满载时, 状态电流。

$$I = 1 \tag{10}$$

满载时的电势

$$\begin{aligned} \dot{E} &= \sqrt{(\dot{U} \cos\varphi)^2 + (\dot{U} \sin\varphi + jIx_1)^2} \\ &= \sqrt{\cos^2\varphi + (\sin\varphi + x_1)^2} \end{aligned} \tag{11}$$

发电机额定功率因数 $\cos\varphi$ 约为0.85。

将状态电流代入(7)式, 再将结果分别代入(1)和(2)式, 可计算出一相开关断开或两相开关断开时的各序电流。

同样, 利用稳态时的相量图或稳态复数算法, 可以求得任意负载时的状态电流。

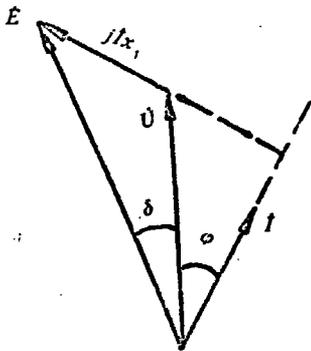


图4

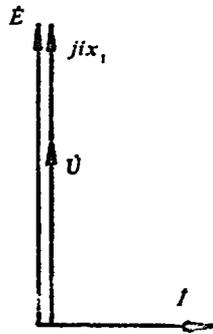


图5

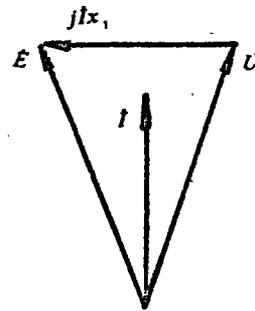


图6

2.2 纵向故障发生前瞬间有功负荷调到零

此时组合单元的相量图见图5, 假设激磁仍维持在满载安匝, 实际上发电机作为调相机用。其状态电流

$$I = \frac{\dot{E} - \dot{U}}{x_1} = \frac{\sqrt{\cos^2\varphi + (\sin\varphi + x_1)^2} - 1}{x_1} \tag{12}$$

将I代入(7)式, 再把结果分别代入(1)、(2)式, 可求得一相开关断开或两相开关断开时的各序电流。

2.3 纵向故障发生前瞬间组合单元恰逢准同步并列和解列。

此时单元的特点是 $\dot{E} = \dot{U}$, 且发电机转速接近同步速, 属于小转差, 相量图见图6。

由于 \dot{E} 和 \dot{U} 有 $\omega - \omega_0$ 的转速差, 故状态电流介于 $0 - \frac{2}{x_1}$ 之间。

如果在准同步并列或正常解列瞬间, 发电机失磁, 状态电流近似为

$$I = \frac{1}{x_1} \quad (13)$$

2.4 发电机盘车时三相开关投入

常见于自整步误操作, 此时发电机转速较低, 转差率大, 无激磁, $E=0$, 若开关投向电网, 同步电机处在异步起动状态, 状态电流

$$I = \frac{1}{x_1} \quad (14)$$

但 x_1 值由 (5)、(6) 式计算。

将此状态电流代入 (7) 式, 再将结果代入 (1) 或 (2) 式, 同样得到发电机盘车时, 发生一相或两相开关接至网络时的各序电流。表 1 总结了上述四种状态电流的计算式。

表 1 四种状态电流的计算式

| 状态 | 满载运行 | 调相机 | 准同步并、解列 | | 大转差自整步 |
|------|------|--|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| | | (满载安匝) | 有激磁 | 失磁 | |
| 状态电流 | 1 | $\frac{\sqrt{\cos^2\varphi + (\sin\varphi x_1)^2} - 1}{x_d + x_B}$ | $\frac{0-2}{x_d + x_B}$ | $\frac{1}{x_d + x_B}$ | $\frac{1}{x + x_B}$ |

3 计算举例

某电厂 1[#] 机组: 发电机额定功率 200MW, 功率因数 $\cos\varphi=0.85$, 额定电流 8625A, 同步电抗 x_d 为 1.95, 负序电抗 x_- 为 0.1762; 变压器额定容量 240MVA, 短路电压 14%, 联接组为(YN,d11)。按 (3)、(5) 式计算组合单元在小转差或同步速下的 $x_1=2.09$, $x_2=0.3162$, $x_0=0.14$; 大转差下的 $x_1=x_2=0.3162$, $x_0=0.14$ 。由前述步骤计算出的四种状态下的状态电流、两种纵向故障时的正序电流、负序电流列表 2。由于零序电流不经过发电机, 对发电机构不成影响, 略去

表 2 两种纵向故障时的正负序电流

| 组合单元状态 | 满载运行 | 调相机 满载安匝 | 准同步并车或解列 | | 大转差率下 自整步 |
|-------------------------|-------|-------------|----------|-------|--------------|
| | | | 有励磁 | 失磁 | |
| 状态电流 | 1 | 0.853 | 0—0.957 | 0.478 | 2.19 |
| 正序电流 (一相开关跳) | 0.995 | 0.815 | 0—0.914 | 0.456 | 2.09 |
| 负序电流 (一相开关跳) | 0.293 | 0.25 | 0—0.28 | 0.14 | 0.64 |
| 正序电流(两相跳) 及负序电流(两相跳) | 0.82 | 0.699 | 0—0.784 | 0.392 | 1.796 |

当然, 状态的设定不是唯一的, 可以有其他类型的设置方法, 有一点必须遵循, 即状态的设定要保证按常规方法能简便、迅速的求取状态电流。此外, 纵向故障的主要影响在于负序电流, 负序电流的计算尽可能精确。统计表明, 发—变组单元在进行并、解列操作时发生纵向故障的事例较多, 需要特别注意。

参 考 文 献

- 1 龙儒臣等, 防止负序电流烧毁发电机的有效措施, 电力技术 1992年第二期
- 2 李光琦, 电力系统暂态分析 水力电力出版社, 1985
- 3 天津大学编 大型同步发电机的运行, 电力工业出版社, 1982

The Application of the state Current in the fast location of the generator—transformer combine unit Vertical fault

(Zhengzhou Institute of the Technology)

Hu Youfu

Abstract: This paper presents the analysis of the Vertical fault in the generator—transformer combined unit, which is caused by open circuit of the paralld off or oil circuit breaker operation. A new fast fault location method has been provided based on the state current. The results are Valuable to the power plant operator.

Keywords: combine unit, state current, verticalfault, location

国家“八五”科技攻关项目

“大型旋转机械在线监测与故障诊断系统”通过鉴定

我院振动工程研究所承担的国家“八五”重大科技攻关项目: 大型旋转机械在线监测与故障诊断系统与中原化肥厂联合攻关于 1994 年 10 月完成后, 安装在年产 30 万吨合成氨 52 万吨尿素的 6 台大型透平压缩机组和发电机组进行在线监测和故障诊断。一年多来, 经过现场运行和生产考核, 在生产中发挥了重要作用, 经济效益显著, 完成了国家预期的重大科技攻关任务, 1995 年 12 月 18 日在国务院重大设备国产化办公室和化工部的组织下, 通过了技术鉴定。

该系统属于国际前沿性研究课题。研究成果达到国际先进水平, 不仅可以直接用于大化肥、乙烯等大型旋转机械, 而且可以在发电等其他行业推广, 有广阔的应用前景。
(张瑞林)

材料中心承担的国家“八五”攻关项目

“非晶合金催化剂的研究、生产与应用”通过验收

由我院材料中心承担的国家“八五”攻关项目, “非晶合金催化剂的研究、生产与应用”在中原化肥厂的协作下胜利完成, 3 月 1 日通过省计经委组织的专家鉴定委员会验收, 其主要成果“快速凝固低压高活性氨合成催化剂”同时通过鉴定, 其主要技术指标处于国际先进水平。

该攻关项目的主要目的是: 以快速凝固技术制备一种能在较低反应压力下呈现较高活性的新型氨合成催化剂。所研制的快速凝固熔铁氨合成催化剂, 经化工部化肥催化剂质监中心检验和中原化肥厂工业现场中试检验, 其技术指标完全达到合同规定要求, 经查新, 该指标处于国际先进水平。该成果在快速凝固制备技术方面体现了创新和特色, 整个技术方案属国内外首创, 研究成果达到国际先进水平, 具有显著节能、降低合成氨装置建设费用和增加氨产量的特点。
(程相喜)