

[电网故障]

66 kV电网故障波形分析

文/中国石油哈尔滨石化公司 邵天宝 刘晓峰

通过一起66 kV电网故障，根据故障录波图，分析在发生单相接地和三相短路故障时电压、电流的波形变化情况，并将不对称的三相相量（电压、电流）进行分解为对称三相相量，分析对称分量的变化，找出故障时电压、电流变化的特点。

电网由于雷击、短路或发电厂故障等原因，造成电压大幅波动，甚至停电数秒钟的现象时有发生，严重时损坏设备，造成事故。本文通过分析66 kV电网单相接地故障和三相短路故障波形，提出故障时电压、电流变化特点。

事故经过

1. 运行方式简介

220 kV变电站单母分段运行：2821开关、I—II段母联2840开关合闸、2822开关分闸，1号主变压器（主变）带I、II段负荷；2823开关、III—IV段母联2850开关合闸，2号主变带III、IV段负荷；2859开关、2845开关等配出回路合闸，送至下配各变电站。66 kV系统中性点经消弧线圈接地。

66 kV变电站单母分段运行：1266开关、1271开关合闸带1#主变；1268开关、1273开关合闸带2号主变；I—II分段1270开关分闸。

6 kV单母线分段运行：601开关合闸带I段负荷，602开关合闸带II段负荷，I—II分段605开关分闸；603开关合闸带III段负荷，604开关合闸带IV段负荷，III—IV分段606开关分闸；其中1#发电机与6 kV I段并网发电，2#发电机与6 kV II段并网发电，3#发电机与6 kV III段并网发电。

1. 事故过程

2016年3月22日23:13分，220 kV变电站2845开关配出电缆A相发生接地，约6 s后故障扩大，发生三相短路，约90 ms后保护动作，切除故障，造

成66 kV电网系统晃电，同时造成66 kV变电站II段电压波动。

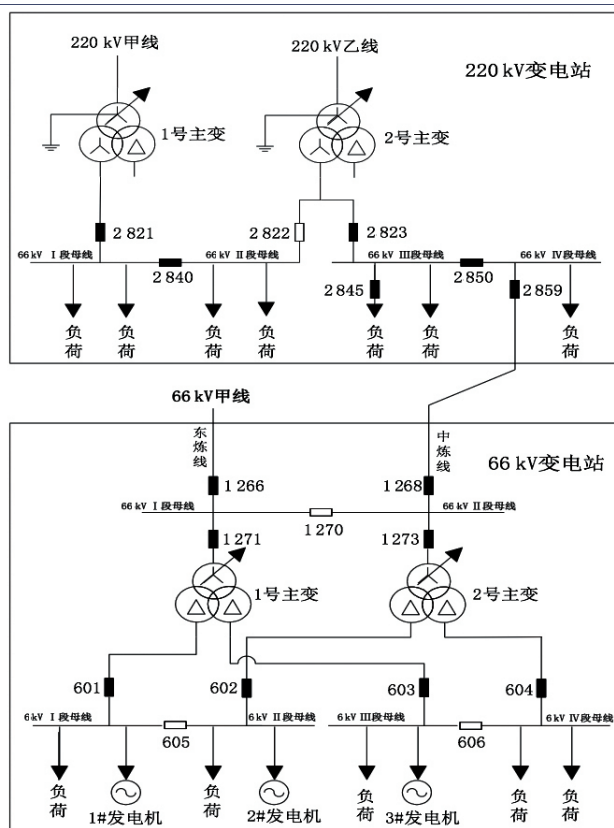


图1 某地区电网接线图

2. 录波采集点

录波采集点取自66 kV变电站1268开关电压、电流。

66 kV电网单相接地时故障录波图及分析

1. 1268开关波形及数值

66 kV系统单相接地时1268开关电压、电流波形如图2所示, 66 kV系统正常与单相接地时1268开关电压、电流数值如表1所示。

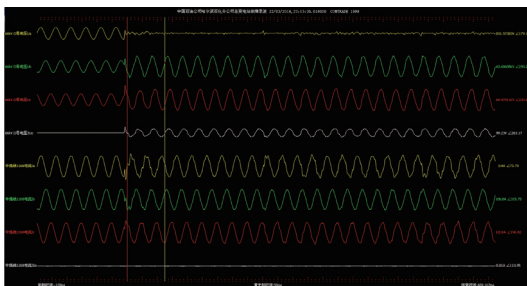


图2 66 kV系统单相接地时1268开关电压、电流波形图

表1 66 kV系统正常与单相接地时1268开关电压、电流数值
(一次值)

项目	系统正常数值 (-50 ms点)	单相接地时数值 (+50 ms点)
电压	U_a	36.84 kV $\angle 85.74^\circ$
	U_b	36.96 kV $\angle 325.61^\circ$
	U_c	36.85 kV $\angle 205.74^\circ$
	$3U_0$	0.14 V $\angle 166.89^\circ$
电流	I_a	112.8 A $\angle 79.04^\circ$
	I_b	109.2 A $\angle 317^\circ$
	I_c	106.8 A $\angle 198.39^\circ$
	$3I_0$	0.01 A $\angle 95.57^\circ$

波形图说明: 图形中红光标(左侧竖线)为时间零点, 黄光标(右侧竖线)为50 ms位置, 右侧数据为黄光标对应三相电压与三相电流的有效值和角度。

2. 1268开关电压特点

(1) 66 kV系统正常时

通过图2和表1可知, 三相电压值基本相等, 各相相位角差 120° ; $3U_0$ 很小。

计算对称分量数据

$$\begin{aligned}\text{正序电压} &= \dot{U}_{a1} (\dot{U}_a + a\dot{U}_b + a^2\dot{U}_c)/3 \\ &= (36.84 e^{j85.74} + e^{j120} \times 36.96 e^{j325.61} \\ &\quad + e^{j240} \times 36.85 e^{j205.74})/3 \text{ kV} \\ &= 36.67 e^{j85.7} \text{ kV}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{负序电压} &= \dot{U}_{a2} (\dot{U}_a + a^2\dot{U}_b + a\dot{U}_c)/3 \\ &= (36.84 e^{j85.74} + e^{j240} \times 36.96 e^{j325.61} \\ &\quad + e^{j120} \times 36.85 e^{j205.74})/3 \text{ kV} \\ &= 0.046 e^{j172.5} \text{ kV}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{零序电压} &= \dot{U}_{a0} (\dot{U}_a + \dot{U}_b + \dot{U}_c)/3 \\ &= (36.84 e^{j85.74} + 36.96 e^{j325.61} \\ &\quad + 36.85 e^{j205.74})/3 \text{ kV} \\ &= 0.049 e^{j173.1} \text{ kV}\end{aligned}$$

式中, $a=e^{j120}$, $a^2=e^{j240}$, 以下公式同, 不再列数值。

(2) 单相接地故障时

通过图2和表1可知, A相电压骤降到831 V左右, B相和C相升高近 倍原相电压, B相与C相电压夹角约为 60° ; $3U_0$ 变大。

计算对称分量数据:

$$\text{正序电压} \dot{U}_{a1} = 36.86 e^{j84.2} \text{ kV}$$

$$\text{负序电压} \dot{U}_{a2} = 0.19 e^{j87.4} \text{ kV}$$

$$\text{零序电压} \dot{U}_{a0} = 37.14 e^{j97.1} \text{ kV}$$

对比66 kV系统正常与单相接地时电压变化有以下特点:

1) A相相电压骤降, B相和C相电压升高, U_b 、 U_c 夹角由 120° 变为 60° 。

2) 正序电压没有变化, 负序电压升高4倍, 零序电压升高758倍。

3. 1268开关电流特点

(1) 66 kV系统正常时

通过表1可知, 三相电流大小基本相等, 相位角差 120° ; $3I_0$ 很小。

计算对称分量数据:

$$\text{正序电流} \dot{I}_{a1} = 109.59 e^{j78.2} \text{ A}$$

$$\text{负序电流} \dot{I}_{a2} = 2.83 e^{j111.6} \text{ A}$$

$$\text{零序电流} \dot{I}_{a0} = 0.85 e^{j90.8} \text{ A}$$

(2) 单相接地故障时

通过表1可知, 三相电流大小基本相等, 相位角差 120° ; $3I_0$ 很小; 波形出现畸形。

计算对称分量数据:

$$\text{正序电流} \dot{I}_{a1} = 111.17 e^{j75.4} \text{ A}$$

$$\text{负序电流} \dot{I}_{a2} = 3.92 e^{j16.2} \text{ A}$$

$$\text{零序电流} \dot{I}_{a0} = 0.77 e^{j81.3} \text{ A}$$

对比66 kV系统正常与单相接地时电流变化有以下特点:

1) 电流出现畸形, 三相电流大小没有发生变化, 三相对称。

2) 正序电流、负序电流、零序电流基本没有变化。

3) 系统正常时相电压超前相电流 7° ; 单相接地时非故障B相电压滞后B相电流 23° , C相电压超前C相电流 37° 。

66 kV电网三相短路时故障录波图及分析

1. 1268开关波形及数值

因三相短路前, 系统A相接地一直接地, 上边已进行分析, 所以只计算三相短路参数, 并与上

边的系统正常时参数进行对比分析。

66 kV系统三相短路时1268开关电压、电流波形如图3, 66 kV系统三相短路时1268开关电压、电流数值如表2所示。

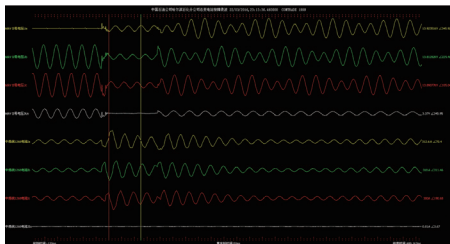


图3 66 kV系统三相短路时1268开关电压、电流波形

表2 66 kV系统三相短路时1268开关电压、电流数值
(一次值)

项目	单相接地时数值 (+50 ms点)
电压	U_a 13.92 kV $\angle 345.92^\circ$
	U_b 13.81 kV $\angle 225.48^\circ$
	U_c 13.89 kV $\angle 105.04^\circ$
	$3U_0$ 3.37 V $\angle 345.95^\circ$
电流	I_a 312.6 A $\angle 70.4^\circ$
	I_b 318 A $\angle 311.46^\circ$
	I_c 300 A $\angle 190.68^\circ$
	$3I_0$ 0.01 A $\angle 3.67^\circ$

2. 1268开关电压特点

三相短路故障时:

通过图3和表2可知, 三相电压降低, 大小基本相等, 各相相位角差 120° ; $3U_0$ 很小。

$$\text{正序电压 } \dot{U}_{a1} = 13.87 e^{j14.5} \text{ kV}$$

$$\text{负序电压 } \dot{U}_{a2} = 0.03 e^{j89.4} \text{ kV}$$

$$\text{零序电压 } \dot{U}_{a0} = 0.09 e^{j40.2} \text{ kV}$$

对比66 kV系统正常与三相短路时电压变化有以下特点:

1) 三相电压下降, 大小基本相等, 相位角差 120° , 三相对称。

2) 正序电压降低2.6倍, 负序电压、零序电压

基本不变。

3. 1268开关电流特点

三相短路故障时:

通过图3和表2可知, 三相电流骤增, 大小基本相等, 相位角差 120° ; $3I_0$ 很小。三相电流聚增主要由于2#发电机并网发电所致, 2#发电机供出的电流通过1268开关流向短路点。

$$\text{正序电流 } \dot{I}_{a1} = 310.19 e^{j70.9} \text{ A}$$

$$\text{负序电流 } \dot{I}_{a2} = 3.96 e^{j161.3} \text{ A}$$

$$\text{零序电流 } \dot{I}_{a0} = 1.32 e^{j0.8} \text{ A}$$

对比66 kV系统正常与三相短路时电流变化有以下特点: ①电流骤增, 三相电流大小相等, 相位角差 120° 。②正序电流增大2.8倍, 负序电流、零序电流基本没有变化。正序电流增大由于2#发电机并网发电所致。③系统正常时相电压超前相电流 7° ; 三相短路时相电压滞后相电流 80° 。

结束语

对于中性点经消弧线圈接地带有发电机系统, 针对外部故障时, 对比系统正常时, 单相接地特点: 故障相电压降低; 非故障的两相电压升高, 且两相夹角约为 60° ; 出现负序电压和零序电压分量; 三相电流基本不变, 电流对称分解相量也基本不变。三相短路时特点: 三相电压同时降低并对称; 正序电压分量增大; 三相电流同时升高并对称; 正序电流分量增大; 相电压滞后相电流约 80° 。

本文通过分析单相接地和三相短路故障波形, 阐述对于66 kV系统中性点经消弧线圈系统, 不同故障时电压、电流的变化, 同时提出了对称分量的变化特点, 为以后故障判断和分析提供依据。EA

(收稿日期: 2018.08.01)

(编辑: 白文亭)

虹润推出NHR-6800彩色无纸记录仪



产品特点: ①采用高性能ARM微处理器为核心, 产品具有功耗低、响应快、功能强、性价比高等特点。②采用7 in进口 800×480 点阵TFT高亮度彩色图形液晶显示, LED背光, 画面清晰、宽视角。③输入—输出—电源之间隔离设计, 对输入、输出、电源采取可靠保护和强抗干扰设计。④产品开孔尺寸 $138 \text{ mm} \times 138 \text{ mm} \times 76 \text{ mm}$, 76 mm的插入深度大大节约了控制柜安装空间。⑤支持USB数据转存和SD卡内存扩展, 与数据管理软件配套使用实现历史数据的查阅与分析。⑥内置大容量FLASH闪存芯片存储历史数据, 掉电永不丢失数据; 曲线显示自由组合, 自定义曲线颜色, 丰富的棒图显示, 仪表自带汉字字库, 支持汉字拼音输入、汉字位号、单位自定义输入, 可任意切换中、英文操作界面, 简单方便。⑦支持标准MODBUS RTU协议RS485通信接口, 支持MODBUS TCP/IP协议的以太网RJ45接口。⑧12路模拟量万能输入, 测量信号高速采集, 100 MS/单通道, 显示刷新周期1S, 测量精度高达 $0.2\% \text{ FS}$, 测量范围-99999-999999, 12路继电器报警输出, 其中6路继电器输出可改为模拟量变送输出。